

Ә. Исағали¹, Н. Михайлова²¹ Казахский Национальный Исследовательский Технический Университет им. К. И. Сатпаева
г. Алматы, Казахстан^{1,2} Центр сбора и обработки специальной сейсмической информации филиала
ИГИ РГП НЯЦ РК (Алматы, Казахстан)

О НЕОБХОДИМОСТИ СОЗДАНИЯ НОВОЙ СЕЙСМИЧЕСКОЙ ГРУППЫ В ЗАПАДНОМ КАЗАХСТАНЕ

Аннотация. Территория Западного Казахстана традиционно считалась слабосейсмичной, что во многом связано с редкой сетью наблюдений. В работе обобщены новые данные мониторинга и результаты двух полевых экспериментов с временными станциями на плато Устюрт и Мангышлаке. Показано, что текущая конфигурация сети (в т.ч. узлы SNECCA и станции НЯЦ РК) фиксирует региональные и телесейсмические события, но недостаточна для устойчиво точной локализации в южной и центральной частях региона. По агрегированным материалам выполнена перелокализация (iLoc, RSTT, Bayesloc), выделены зоны минимального шума. Кейс ощутимого землетрясения Бузачи 25.04.2023 демонстрирует влияние геометрии сети на ошибки эпицентра. Обоснована необходимость новой высокочувствительной группы на Устюрте для повышения качества регистрации и оценки сейсмоопасности.

Ключевые слова: Западный Казахстан, сейсмический мониторинг, сейсмический шум, локализация очагов, iLoc, землетрясение, SNECCA, Бузачи.

Введение. Территория Западного Казахстана считается слабосейсмичной, однако этот вывод основан на крайне ограниченных данных из-за отсутствия в регионе систематического сейсмического мониторинга. [1] Исторически сейсмическое зонирование проводилось на недостаточной фактологической базе. Единственным исключением в советский период были эпизодические работы Комплексной сейсмологической экспедиции (КСЭ), устанавливавшей станции на год лишь в районе хребта Мугоджары. Значительные территории, такие как Мангышлакский полуостров и Прикаспийская впадина, вообще не охватывались наблюдениями.

Международные системы мониторинга последних десятилетий регистрируют в основном сильные землетрясения, а для фиксации слабых событий в регионе недостаточно станций (Актюбинск, Акбулак). Это приводит к ошибкам в локализации гипоцентров.

Ситуация не улучшилась кардинально и после установки в 2022 году трёх новых станций по проекту SNECCA. Их охват остаётся частичным, так как они расположены преимущественно на севере региона, оставляя большие территории без инструментального наблюдения.

Помимо дефицита сети, существуют методические проблемы. Отсутствие региональных годографов и калибровочных функций затухания волн ведёт к значительным ошибкам в определении location и энергетики очагов. Это, в свою очередь, не позволяет достоверно различать природу событий: природные землетрясения, карьерные взрывы, техногенные процессы на месторождениях или потенциальные события в районах прошлых ядерных испытаний.

Трудности создания каталога. Дополнительной проблемой является формирование регионального каталога землетрясений, что превращается в серьёзное препятствие для создания достоверной информационной базы, необходимой при оценке сейсмической опасности. [2] В условиях недостаточного числа локальных наблюдений в научных исследованиях традиционно

используются преимущественно данные международных каталогов, которые фиксируют главным образом сильные события и не отражают полной картины сейсмичности региона.

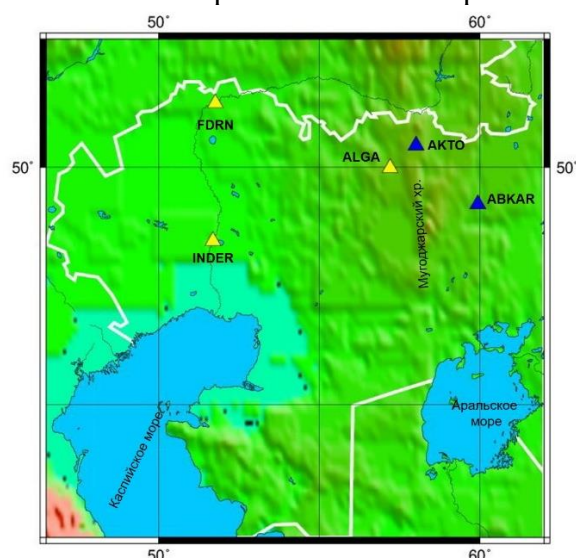


Рисунок 1 - Карта расположения современных стационарных сейсмических станций, АКТО, АВКАР – сеть KZ, FDRN, ALGA, INDER – сеть QZ (SNECCA).

На данный момент наиболее представительным и точным источником информации считается каталог землетрясений, созданный в рамках проекта Международного научно-технического центра (ISTC) **CASHA-BU**. [3] В ходе работ по данному проекту был проведён масштабный сбор исторических аналоговых и современных цифровых сейсмических бюллетеней, что позволило сформировать новый комплексный каталог. Основой расчётов стало формирование высококачественной базы данных путём перелокализации событий в скомпилированном бюллетене с применением современного алгоритма определения местоположения по одному событию **iLoc** (Bondár & McLaughlin, 2009a; Bondár & Storchak, 2011), использующего прогнозы времени пробега согласно глобальной 3D-региональной сейсмической модели **RSTT** (Myers et al., 2010; Begnaud et al., 2021a, 2021b).

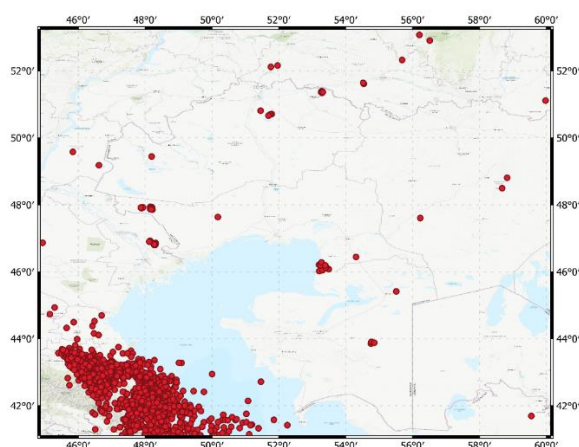


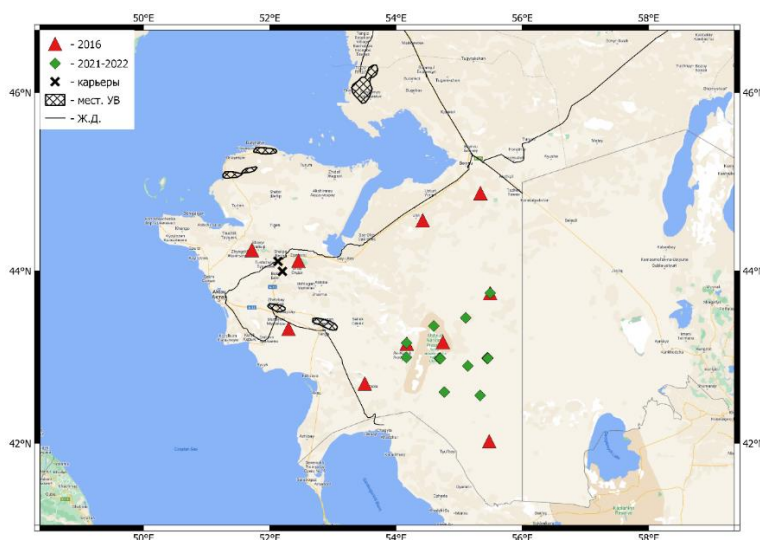
Рисунок 2 - Карта данных каталога землетрясений CASHA-BU, локализованных с помощью Bayesloc

Далее, на основе вручную проверенных координат, определённых с помощью iLoc, локации событий региона были переопределены с применением алгоритма **Bayesloc** — нелинейного метода оценки параметров множественных событий (рисунок 2). Такой подход обеспечил более высокую точность определения гипоцентров и позволил сформировать комплексный каталог, наиболее полно отражающий сейсмическую активность региона.

Очень важные эксперименты по изучению условий регистрации сейсмических колебаний и перспектив создания новой сейсмической группы на плато Устюрт были проведены ИГИ НЯЦ РК совместно с Мичиганским государственным университетом (США) под руководством Кевина Макки.

Первый этап исследований проходил с 19 августа по 12 сентября 2016 года и был направлен на изучение характеристик сейсмического шума на десяти различных площадках. (рис. 3, красные треугольники). Эти работы позволили оценить фоновый уровень сейсмического шума и выявить наиболее перспективные площадки для размещения постоянных станций.

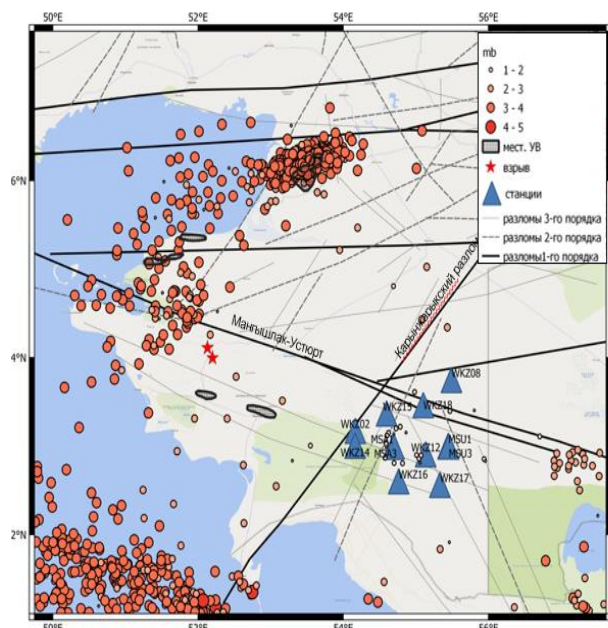
Второй этап проводился в юго-восточной части Мангистауской области, к востоку от полуострова Мангистау, и продолжался в течение года — с сентября 2021 по октябрь 2022 г. В этот период было установлено 16 временных станций (рис. 3, зелёные треугольники), что позволило собрать уникальный материал о пространственной изменчивости сейсмического шума и условиях его регистрации в различных геолого-геоморфологических обстановках.



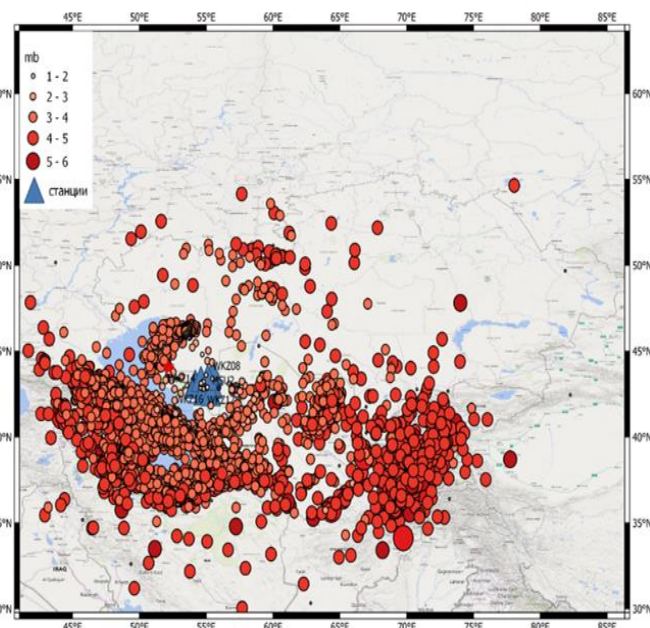
Красные треугольники – сейсмические станции 2016г.; зеленые ромбики – сейсмические станции 2021–2022 гг.; сплошная оранжевая линия – крупные шоссе, черная линия – железные дороги, заштрихованные области – нефтегазовые месторождения, крестики – работающие карьеры

Рисунок 3 - Карта расположения полевых сейсмических станций во время эксперимента

В результате обработки данных был составлен региональный бюллетень, содержащий параметры 6020 землетрясений. Проведена оценка сейсмических шумов, выявлены площадки с их минимальным уровнем и определено влияние сезонных факторов, таких как шторма на Каспии. Станции зарекомендовали себя высокоэффективными, зафиксировав за год 6020 региональных и 4622 телесеизмических события. Эксперимент позволил выявить новые сейсмически активные зоны и подтвердить ранее прогнозируемые опасные участки, а также регистрировать техногенные события на месторождениях. [4]



Карта эпицентров сейсмических событий и
тектоническая характеристика района



Карта эпицентров сейсмических событий по
данным ручной локализации (6020)

Рисунок 4 - Результаты обработки данных регистрации, полученных в течение эксперимента 2021-2022 гг.

Полученные результаты убедительно демонстрируют необходимость создания в Западном Казахстане постоянной сейсмической сети. Эти данные являются важным шагом для оптимизации размещения новых станций, особенно в южной и центральной частях региона, и лягут в основу будущей системы для точного определения параметров землетрясений и оценки сейсмической опасности.

После завершения эксперимента на исследуемой территории было зафиксировано несколько землетрясений. Наиболее сильное из них ($mb=4,5-5,0$) произошло 25.04.2023 в районе полуострова Бузачи и ощущалось в Мангистауской области. Расчёты показывают, что в этом же районе возможны более сильные события ($M_w=5,0-5,5$), которые могут привести к интенсивности толчков свыше 6 баллов.

Оперативные данные от сети станций НЯЦ РК поступили быстро, но из-за большого расстояния (более 620 км) и неоптимального расположения станций эллипс ошибок локации составил 55 км. Такая неопределённость не позволяет точно идентифицировать сейсмогенную зону, ответственную за это землетрясение.

Для уточнения были привлечены данные 122 глобальных станций и использован алгоритм Пос+RSTT. Это позволило значительно повысить точность: эллипс ошибок сократился до 5,8 км, а глубина гипоцентра была определена как 10 км. Данное решение хорошо согласуется с расчётами NEIC Геологической службы США. Согласно актуальным картам, эпицентр землетрясения расположен между двумя сейсмогенными зонами — Центрально-Мангышлакско-Устюртской и Южно-Эмбенско-Мугоджарской. Позднее, 2 декабря 2024 года, в этом же районе было зарегистрировано новое землетрясение с $K=9,6$, что подтверждает его сейсмическую активность. [5]



IDC — Международный центр данных (Вена); NEIC — Национальный центр информации о землетрясениях Геологической службы США; MOS — Геофизическая служба РАН; GFZ — Центр исследований Земли, Германия; KNDC — Центр данных ИГИ НЯЦ РК

Рисунок 5 - Карта эпицентров землетрясений 25.04.2023 г. по данным международных и региональных сейсмологических центров из.

Таблица 1 - Инструментальные параметры землетрясения 25 апреля 2023 г. по данным различных сейсмологических центров

N	Агентство	t0	φ°	λ°	h	S _{maj}	S _{min}	Nsta	Магнитуда
1	IDC	07:25:00.7	44.892	52.322	0 f	9.0	6.0	35	mb=4.2, ML= 4.7
2	GFZ	07:25:02.7	44.929	52.445	10 f	6.2	4.5	102	mb=4.6, ML=5.3
3	NEIC	07:25:02.2	44.889	52.359	10	10.3	9.3	94	mb = 4.5
4	ГС РАН	07:25:04.1	44.813	52.549	10	9.8	4.9	52	mb = 4.5
5	KNDC, оперативное	07:25:07.7	44.949	53.463	0	55	32	13	mb=5.0, mpv=4.2 K = 10.5
6	KNDC iLoc+ak135	07:25:01.6	44.863	52.296	10.9	4.3	2.9	122	mb=4.6, ML=4.8 mB=1.7
7	KNDC, iLoc+RSTT	07:25:01.9	44.893	52.389	10	5.8	3.7	122	mb=4.6, ML= .8 mB = 1.6

Выводы

Результаты функционирования в последние два десятка лет станций НЯЦ РК, входящих в глобальные сети МСМ ОДВЗЯИ и АФТАС, расположенных на севере Западного Казахстана, уверенно демонстрируют наличие во всем регионе сейсмических событий разной природы, свидетельствующих о наличии здесь реальной сейсмической опасности. Это и природные события с фактической интенсивностью в 5 баллов, и техногенные события с интенсивностью проявления в 4 балла. Здесь же находятся места проведения в прошлом так называемых мирных ядерных взрывов, вблизи которых отмечены слабые толчки. Но отсутствие в регионе хорошей сети приводит к значительным ошибкам при определении параметров сейсмических событий и затрудняет формирование достоверной информационной базы для оценки сейсмической опасности.

Следует отметить и трудности, а порой невозможность проведения анализа данных с целью определения природы событий – распознавания взрывов и землетрясений, представляющей важность для работ по мониторингу ядерных испытаний и контроля за выполнением Договора о всеобъемлющем запрещении ядерных испытаний.

Эксперименты с временными сейсмическими станциями подтвердили перспективность региона для создания здесь высокочувствительной сейсмической группы для усиления эффективности мониторинга и показали необходимость расширения сети инструментальных наблюдений. На основании полученных данных рекомендуется создание новой сейсмической группы в южной части Западного Казахстана на плато Устюрт. Это позволит повысить эффективность регистрации событий, улучшить локализацию очагов и повысить точность параметризации. Кроме решения национальных задач по оценке сейсмической опасности, создание новой сейсмической группы обеспечит интеграцию ее данных в Международную систему глобального мониторинга ядерных испытаний, что имеет принципиальное значение для повышения национальной и международной безопасности.

Список литературы:

1. Мукамбаев А.С., Михайлова Н.Н. К проблеме оценки сейсмической опасности Западной Казахстана // Вестник НЯЦ РК. - 2010. - Вып. 4. С. 142-147.
2. Строительство в сейсмических районах (СНиП РК В. 1.2-4-48). Комитет по жилищной и строительной политике Министерства энергетики, индустрии и торговли РК / Алматы, 1998. 39 с.
3. Кондорская Н.В., Уломов В.И. ред. Специализированный каталог землетрясений Северной Евразии с древнейших времен до 1990 г. (SECNE) – М.: Фонды ИФЗ РАН, 1995.
4. Михайлова Н.Н., Исагали А.А. Новые данные о сейсмичности территории Западного Казахстана // Вестник Института сейсмологии НАН КР.- 2023. - № 2(22).- С. 29-35..
5. Mikhailova, N.N., Mukambayev, A.S., Velikanov, A.Ye. and Issagali, A.A. (2025) The Earthquake Occurred in the West of Kazakhstan, Buzachy Peninsula on April 25, 2023. Open Journal of Earthquake Research, 14, 49-66. <https://doi.org/10.4236/ojer.2025.142005>.