

Н.Н. Михайлова, А.С. Мукамбаев, А.Е. Великанов, А.Н. Узбеков

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

О ПРИРОДЕ РЕГИСТРИРУЕМЫХ СЕЙСМИЧЕСКИХ СОБЫТИЙ В «АСЕЙСМИЧНЫХ» РЕГИОНАХ КАЗАХСТАНА

Аннотация. После создания в 2000-2006 г.г. современных сейсмических групп НЯЦ РК, размещенных в Западном, Северном, Восточном Казахстане, изменился взгляд на сейсмичность и сейсмическую опасность так называемых «асейсмичных» территорий. Отмечены природные землетрясения на считавшихся асейсмичными территориях. Это события, связанные с активными разломами (2001 г., Шалгинское землетрясение в Центральном Казахстане, интенсивность в эпицентре 6 баллов), с активным соляным диапиризмом и карстовыми процессами (2008 г., Шалкарское землетрясение в Западном Казахстане, интенсивность в эпицентре 7-8 баллов), землетрясения в Мангистауской области. Зарегистрировано большое количество событий техногенной природы. Зарегистрированы и локализованы тысячи каверных взрывов, техногенные землетрясения в местах добычи жидких и твердых полезных ископаемых. Отдельным классом землетрясений являются триггерные (природно-техногенные) землетрясения, возникающие в районах, подверженных длительному воздействию карьерных взрывов, а также в местах ранее проведенных ядерных испытаний. Пример – Жезказганские землетрясения 1994-1996 г.г., Карагандинское землетрясение 2014 г., интенсивность в эпицентре 5-6 баллов и др.. Изучение природных и техногенных событий имеет важное значение для оценки сейсмической опасности.

Ключевые слова: землетрясение, сейсмическая группа, тектонические и техногенные землетрясения, магнитуда, интенсивность, сейсмическая опасность.

Основная часть

Для оценки сейсмической опасности основным информационным ресурсом являются детальные каталоги землетрясений с точными параметрами очагов и распознанной природой событий. Качество каталогов напрямую зависит от сети сейсмических станций. Ранее в Казахстане сеть сейсмических наблюдений развивалась в основном в районах, где уже были известны сильные землетрясения. Это юг, юго-восток и частично восток Казахстана. Эту ситуацию отражали и карты сейсмического районирования 1998г. и 2003 г. В конце 90-х -начале 2000-х годов были открыты новые станции в связи с международными обязательствами Казахстана по контролю соблюдения Договора о всеобъемлющем запрещении ядерных испытаний, подписанного и ратифицированного Казахстаном (1996 и 2001 г.г.). Расположение станций не зависело от уровня сейсмичности, наоборот – они располагались в самых тихих по сейсмическим шумам районах. Их данные позволили существенным образом изменить взгляд на сейсмическую опасность считавшихся асейсмичными регионов. Оказалось, на «асейсмичной» территории происходят сейсмические события природного и техногенного характера, даже с выраженным сейсмическим эффектом (разрушенные здания, инфраструктура, жертвы среди населения),

То, что на платформенных территориях происходят землетрясения, было известно и ранее. Первое из необычных событий, инструментально зарегистрированных и подробно изученных, было Баканасское землетрясение 1979г. (юго-восток Казахстана). Оно привлекло внимание в силу ряда уникальных особенностей. Большая глубина очага 40 км, казавшаяся специалистам нереальной для данного района, подтверждена не только данными локализации источника, но и

наличием глубинных фаз на записях далеких станций на телесеismicических расстояниях. Это фазы sP, sS, pP. Эти фазы зарегистрированы более чем на 200 станциях мира. В эпицентральной зоне не было зарегистрировано ни одного события. Параметры очага $M_w=5,7$; $m_b=5,8$; $M_s=5,6$. Интенсивность в эпицентре $I_0=6$ баллов. Позже 12.09.2010 произошло еще одно землетрясение с $K=12$ в том же районе. [1,2].

На рис.1 показана карта сейсмического районирования Казахстана 1998 г и наиболее сильные землетрясения, зарегистрированные новой сетью после 2000 г., на нижнем рисунке землетрясения на асейсмичной территории.

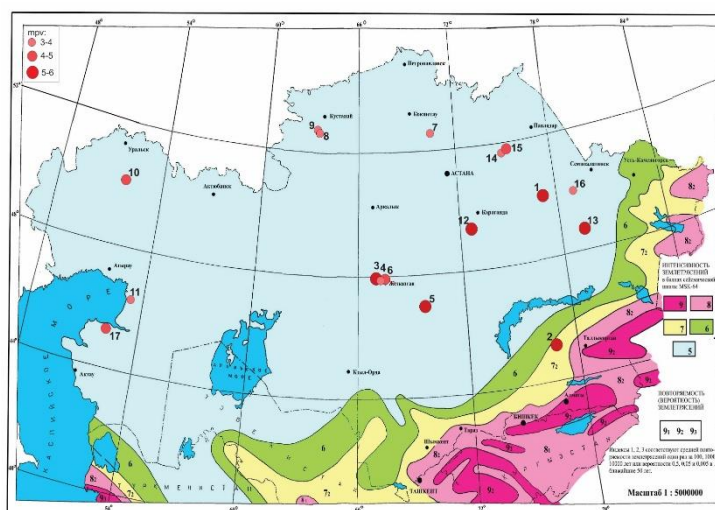


Рисунок 1 - Карта эпицентров наиболее сильных землетрясений с 2000г. с магнитудой более 3 на фоне карты ОСР 1998 г.

Наиболее интересные землетрясения:

Центральный Казахстан

Впервые достоверные материалы о природной сейсмической активности Центрального Казахстана были получены в 2001 г. 22 августа 2001 г. произошло Шалгинское землетрясение, его параметры – магнитуда $m_b=5,8$, энергетический класс 13,1, интенсивность в эпицентре 6 баллов. Специальная экспедиция НЯЦ РК зарегистрировала 6 афтершоков, построена карта изосейст. Впервые получены данные о напряженном состоянии земной коры по механизму очага. Оси напряжений сжатия близгоризонтальны и ориентированы близмеридионально, с небольшим отклонением на северо-восток от меридиана. Это землетрясение послужило стимулом к изучению сейсмичности других районов Казахстана, ранее считавшихся асейсмичными. По-новому был поставлен вопрос о развитии системы сейсмических наблюдений в Казахстане [3].

Западный Казахстан

В 2008 г. в Западном Казахстане произошло сильное землетрясение в северной части Прикаспийской впадины, где чехол осадочных пород до кристаллического фундамента достигает 15 -18 км. Произошло неглубокое землетрясение, зарегистрированы сильные инфразвуковые волны, зарегистрированные инфразвуковой станцией НЯЦ РК. Локальная система напряжений по данным о механизме очага свидетельствует о преобладающих напряжениях растяжения, поскольку тип подвижки в очаге определен как сдвига-сброс. В результате землетрясения разрушены два поселка. Интенсивность в эпицентре составила 7-8 баллов. Магнитуда $m_b=5,0$, $M_s=4,6$. Глубина 3 км. В соответствии с изученными условиями в эпицентральной зоне,

геологическими, тектоническими характеристиками считается, что это естественное тектоническое явление, связанное с карстовым процессом и активным соляным диапиризмом [4].

В Западном Казахстане в 2023 г. отмечены землетрясения на полуострове Бузачи, признанные природными тектоническими землетрясениями. 23 мая 2023г. произошло землетрясение с магнитудой $m_b=4.6$, $M_L=4.8$, энергетический класс $K=10,5$. Толчки с интенсивностью 4 балла ощущали жители п. Кызан (23км от эпицентра), п.Тузшыкол (37 км от эпицентра) и 2-3 балла в г.Актау. Этому уникальному для данного региона землетрясению, первому ощутимому здесь и инструментально зарегистрированному событию посвящена работа [5]. По современной карте общего сейсмического зонирования 2017 г. территории Казахстана район эпицентра расположен между двумя сейсмогенерирующими зонами - Центрально-Мангышлак-Устюртской и Южно-Эмбенско-Мугоджарской.

Кроме природных, на территории Казахстана регистрируется большое количество техногенных событий и землетрясений. Большую часть зарегистрированных сейсмических событий техногенной природы первого типа, безусловно, составляют промышленные взрывы, проводимые при разработке полезных ископаемых. Их регистрируется около 5000-6000 в год. Взрывная сейсмичность представляет отдельный аспект в сейсмическом мониторинге и требует распознавания их природы в отличии от землетрясений для корректности составляемых каталогов, используемых в оценке сейсмической опасности.

Второй тип – техногенные землетрясения, происходящие при проведении горных работ, при заполнении водохранилищ, при добыче нефти и газа, при закачке в недра жидких отходов, при проведении подземных ядерных взрывов и крупных взрывов химических ВВ. Эффекты техногенной сейсмичности разнообразны по масштабу: от слабых сейсмических толчков до катастрофических землетрясений, сопряженных с большими рисками и соответствующим ущербом.

Сеть НЯЦ РК регистрирует такого рода техногенные землетрясения как в местах разработки нефти и газа, так и твердых полезных ископаемых. Например, сетью НЯЦ РК регистрируются события на месторождениях углеводородов Тенгиз, Жанажол, Карачаганак, на угольных месторождениях Каражыра, Экибастуз, на месторождении меди Жезказган и др.

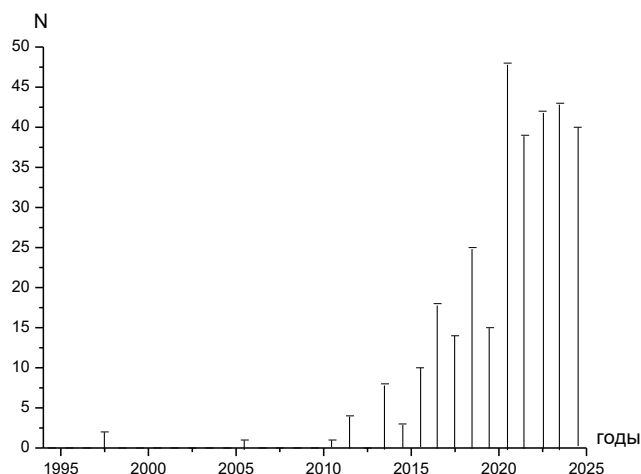


Рисунок 2 - Ежегодное количество техногенных землетрясений по данным сети НЯЦ РК на месторождении Тенгиз

Количество техногенных событий ежегодно возрастает, а максимальная выделявшаяся при таких событиях энергия уже сейчас превышает магнитуду 4. На рисунке 2 представлена

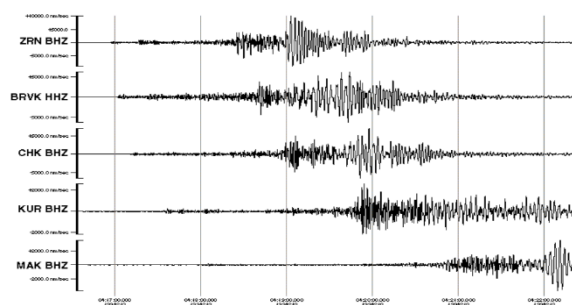
динамика ежегодного количества наиболее сильных техногенных событий на месторождении Тенгиз (по данным сети НЯЦ РК). Здесь демонстрируются только события с магнитудами более 2,1.

Очаги техногенных землетрясений имеют, в основном, небольшие глубины. Это повышает их опасность для зданий и сооружений: небольшие магнитуды землетрясений компенсируются близостью очагов к поверхности, так что относительно слабые техногенные землетрясения способны вызвать сильные сейсмические воздействия.

Решение широкого спектра научных и практических задач, связанных с безопасной эксплуатацией промышленных систем и объектов, должно базироваться на мониторинге геодинамических процессов и изменений естественных сейсмо-деформационных режимов литосферы в регионах повышенного геодинамического риска. Анализ результатов мониторинга позволит в принципе контролировать эколого-геодинамическую ситуацию и управлять сейсмическим риском.

Третий тип техногенных землетрясений - триггерная (природно-техногенная или индуцированная) сейсмичность, возникает в результате нарушения стационарного деформационного режима в среде, когда даже слабые воздействия могут привести к возникновению сильной техногенной сейсмичности. В таких условиях интенсивность триггерной сейсмичности может превышать интенсивность техногенного воздействия. Триггерная сейсмичность возникает иногда при техногенных воздействиях в условиях несейсмичных или слабосейсмичных районов, что является неожиданным и редким явлением. Техногенное воздействие в этом случае только ускоряет или запускает (является триггером) процесс высвобождения собственных запасов упругой энергии в массиве или вызывает срабатывание практически готового очага землетрясения.

Для сведения - ярким примером триггерного сейсмического события является сильнейшее Бочатское землетрясение, произошедшее 18.06.2013 г. в Кузбассе с магнитудой 5,8 – 6,1 (сейсмическая энергия $6 \cdot 10^{13}$ Дж). На территории Центрального Казахстана также наблюдались подобные землетрясения. Это землетрясения, связанные с техногенной деятельностью на месторождении Жезказган. Они произошли в 1994 и 1996 г.г. Нами были найдены их сейсмические записи, обработаны, оценены магнитуды, которые достигали 4,8.



Разрыв грунта.



Деформация рельсового пути.

Рисунок 3 - Записи и проявления на поверхности землетрясения 1 августа 1994г., $t_0=04:15:39,7$, на территории карьера Златоуст-Беловский вблизи г. Жезказган. $m_b=4.8$, $M_s=4.5$

Это было крупномасштабное обрушение, которое унесло жизни 6 человек, вызвало разрушение множества действующих подземных выработок и зданий на поверхности. Проявления землетрясения были столь сильными, что практически привели к полной остановке

работ на одном из рудников, закрытию ряда шахт и переносу поверхностных строений из опасной зоны [6.7].

Удивительным для сейсмологов было землетрясение 21 июня 2014 года в Центральном Казахстане близ г. Караганды с магнитудой $m_{pva}=5.2$. У события 21 июня 2014 года было зарегистрировано 3 афтершока, а 19 июня 2014 г. в этом же районе было зарегистрировано более слабое землетрясение, с магнитудой $m_{pva}=2.6$. Землетрясение ощущалось с интенсивностью сотрясений от 2 до 5 баллов по шкале MSK-64 на площади 230×190 км]. Макросейсмическое обследование эпицентральной территории землетрясения проведено сотрудниками Института геофизических исследований НЯЦ РК. По результатам макросейсмического обследования. Изосейсты землетрясения имеют форму, близкую к изометричной и чуть вытянуты в ССЗ направлении. Интересно, что в этом же районе в ноябре 2005 года было зарегистрировано землетрясение с $m_{pva}=3.7$ [8].

То, что землетрясение 21 июня 2014 г. имеет тектоническую природу, сомнений нет, об этом свидетельствует приуроченность к тектоническому разлому, механизм взбросо-сдвиг, глубина события ~ 10 км, наличие афтершоков, особенность волновой картины и др. Однако вблизи эпицентра расположен один из крупнейших в мире Карагандинский угольный бассейн, по запасам угля он занимал третье место в СССР после Кузбасса и Донбасса. Первая горная выработка была заложена в 1857 г. Регулярное техногенное воздействие могло ускорить процесс подготовки этого землетрясения.

В Северном Казахстане отмечены землетрясения аналогичной природы близ г. Рудный, близ г. Степняк недалеко от курорта Боровое, где зарегистрированы ощутимые землетрясения с интенсивностью 4 балла.

В последнее время представления о современном геодинамическом состоянии недр радикально изменились. Многолетние работы на геодинамических полигонах показали, что деформационные процессы наблюдаются повсеместно и даже на древних платформах и в сейсмически спокойных регионах [9]. Поэтому очень важным представляется тщательный анализ всех случаев реакции естественных сейсмо-деформационных процессов на деятельность человека, приводящих к развитию аномальных деформаций земной поверхности и появлению техногенных сейсмических явлений. Необходима заблаговременная постановка наблюдений в районах, где осуществляется значительное воздействие или имеются предпосылки чувствительности естественных деформационных процессов к воздействию. Следует также еще на этапе проектирования освоения месторождения или заполнения водохранилища оценивать возможную реакцию горного массива на ожидаемое воздействие.

Изучение сейсмичности на территории «асейсмичных» регионов Казахстана представляет большой интерес как для проблемы оценки сейсмической опасности, так и для изучения закономерностей распространения сейсмических волн через платформенную часть страны, особенностей проявления афтершоковой деятельности, напряженно-деформированного состояния коры [10].

Список литературы:

1. Нурмагамбетов, А. Баканасское землетрясение 25 сентября 1979 г. / А. Нурмагамбетов, А. Сыдыков, А.А. Власова, А.Ф. Краснова // Землетрясения в СССР в 1979 г. – М.: Наука, 1982. – С. 48 - 53.
2. Михайлова Н.Н., Полешко Н.Н. О необычном Баканасском землетрясении 1979 г. в Казахстане ($MW=5,7$). // Вестник НЯЦ РК. - 2013. - Вып. 2. С.154-160.
3. Михайлова Н.Н., Неделков А.И., Соколова И.Н., Казаков Е.Н., Беяшов А.В. Шалгинское землетрясение в Центральном Казахстане 22.08.2001 г. // Геофизика и проблемы нераспространения: Вестник НЯЦ РК, 2002. Вып. 2(10). С. 78-87.

4. Михайлова Н.Н. О природе Шалкарского землетрясения (Западный Казахстан, 26 апреля 2008 года) / Н.Н.Михайлова, А.Е.Великанов // Промышленность Казахстана, 12.2008-02.2009.
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. doi: 10.4236/ojer.2025.142005.
6. Сатов, М.Ж. Мониторинг горного массива по данным сдвижения горных пород / // Горный журнал, 1999. – №3 – С. 44 - 47.
7. Сатов, М.Ж. Сейсморайонирование месторождения по данным приборного контроля Горный журнал, 1999. – N 3. – С. 14 - 16.
8. 18. Михайлова Н.Н., Полешко Н.Н., Великанов А.Е., Узбеков А.Н. О землетрясении близ Караганды 21 июня 2014 года // Вестник НЯЦ РК, 2015. – Вып. 3. – С. 94 - 100.
9. Адушкин В.В., Турунтаев С.Б. Техногенные процессы в земной коре (опасности и катастрофы) // М.: ИНЭК, 2005. – 252 с.
10. Мукамбаев А.С., Михайлова Н.Н. Сейсмичность взрывных работ на территории Республики Казахстан. // Вестник НЯЦ РК. – 2017. – Вып. 4. С.124.
11. Михайлова Н.Н., Полешко Н.Н. Сейсмичность и характер напряжённо-деформированного состояния в слабосейсмичных районах Казахстана. // Вестник НЯЦ РК. - 2013. - Вып. 2. С.140-153.