

УДК 550.34.06

ВАЖНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ, ПОЛУЧЕННЫЕ БЛАГОДАРЯ ОТКРЫТИЮ СЕЙСМИЧЕСКИХ ГРУПП В КАЗАХСТАНЕ

Михайлова Н. Н.

Институт геофизических исследований, Курчатов, Казахстан

Приведены результаты использования данных сейсмических групп, расположенных на территории Казахстана. Кроме мониторинга ядерных испытаний, выделены три основных направления использования этих данных, важные для региональной сейсмологии: сейсмический мониторинг землетрясений и промышленных взрывов, выявление новых типов сейсмических источников и их параметризация, детальный анализ волновой структуры записей землетрясений для получения новых данных о формировании «далекой» коды Lg-волн.

Период 1999 – 2006 гг. явился совершенно уникальным этапом развития в Казахстане сейсмологических наблюдений: в течение столь короткого времени одна за другой вводились в строй новые сейсмические группы. Оператором сети сейсмических групп в комплексе с рядом других станций является Институт геофизических исследований, в то время входивший в состав Национального ядерного центра РК [1]. Основное назначение создаваемых сейсмических групп – мониторинг ядерных испытаний и землетрясений в составе глобальных сетей наблюдений. Три сейсмические группы: Маканчи, Боровое и Курчатов-Крест, – входят в Международную систему мониторинга (МСМ), создаваемую в соответствии с Договором о всеобъемлющем запрещении ядерных испытаний (ДВЗЯИ) [2]. При этом Маканчи является первичной станцией Международной системы сейсмического мониторинга (МСМ), Боровое и Курчатов-Крест входят в сеть вспомогательных станций МСМ [3]. Две сейсмические группы – Каратау и Акбулак созданы совместно с Центром прикладных технологий воздушных сил, АФТАС (США) и интег-

рированы в сеть мониторинга ядерных испытаний АФТАС [4].

Сейсмические группы имеют различную конфигурацию и апертуру [5]. Так, конфигурация четырех групп (Маканчи, Боровое, Каратау, Акбулак) представляет (условно) две концентрических окружности с размещенными вдоль них девятью элементами (вертикальные сейсмометры) и центральный элемент (трехкомпонентный сейсмометр). Апертура их составляет 3–4 км. Это, так называемые, мало-апертурные сейсмические группы (рисунок 1-а).

Сейсмическая группа Курчатов-Крест [5] имеет конфигурацию в виде двух взаимно ортогональных профилей с 21 размещенными элементами (20 вертикальных сейсмометров, 1 центральный – трехкомпонентный сейсмометр) – рисунок 1-б. Апертура группы составляет 22,5 км.

Сейсмометры на всех группах размещены в скважинах глубиной 25–60 м. Подробная информация о сейсмических группах и их аппаратном оснащении размещена на веб-сайте Казахстанского национального центра данных [5].

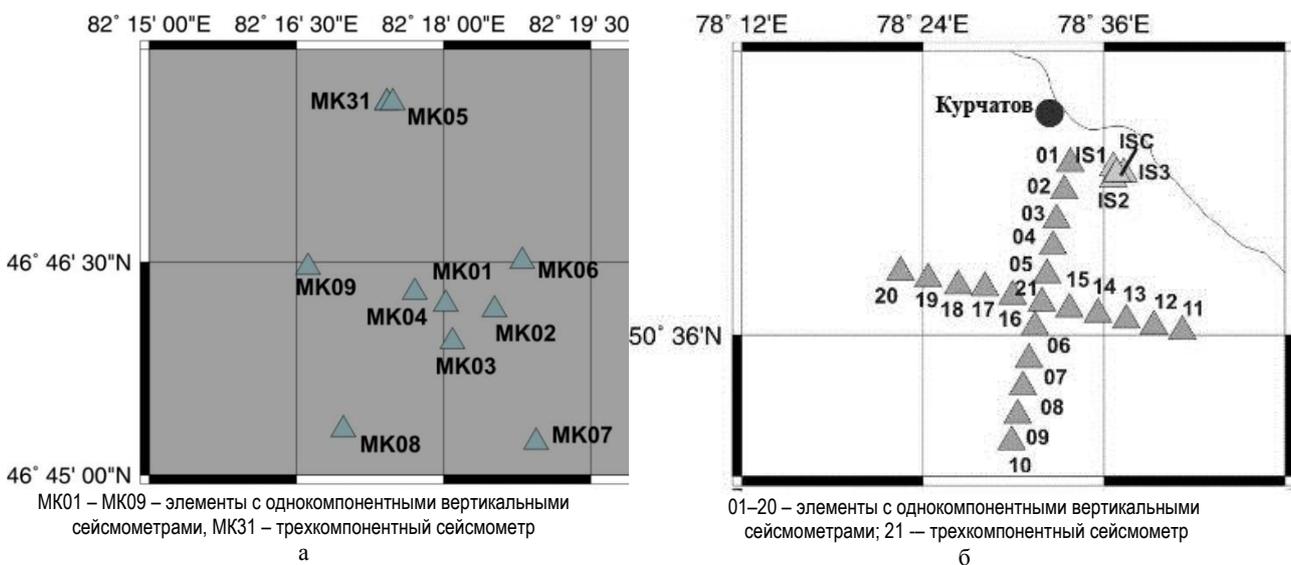


Рисунок 1. Конфигурация сейсмических групп: а – Маканчи (аналогична конфигурации сейсмических групп Боровое, Каратау, Акбулак); б – Курчатов - Крест

Данные со всех сейсмических групп поступают в Казахстанский национальный центр данных (КНЦД) в г. Алматы, а также передаются в международные Центры данных (IDC, NEIR, ISC, EMSC, GSRAS), где успешно используются в глобальном сейсмическом мониторинге. Так, все казахстанские группы участвовали в регистрации и оперативной обработке сейсмических записей четырех ядерных испытаний, произведенных в Северной Корее, во всех международных центрах данных [6, 7]. Данные казахстанских сейсмических групп постоянно используются при обработке сильнейших землетрясений мира, к ним активно обращаются исследователи разных стран для применения в различных областях геофизики, в том числе для изучения структуры Земли и создания более полных её моделей [8].

Огромный вклад сейсмические группы внесли и в региональную сейсмологию Центральной Азии. Главными направлениями использования данных сейсмических групп, по которым получены важные, совершенно новые результаты, имеющие как практическое значение для задач оценки сейсмической опасности и снижения сейсмического риска, так и фундаментальное значение для развития представления о строении и геодинамике региона, являются:

1. Региональный мониторинг землетрясений и промышленных взрывов на территории Казахстана и соседних стран Центральной Азии.

2. Выявление новых типов сейсмических источников и их параметризация.

3. Детальное изучение волновых полей от региональных землетрясений для характеристики литосферных неоднородностей в Центральной Азии.

1. РЕГИОНАЛЬНЫЙ МОНИТОРИНГ

До создания новых сейсмических групп региональный мониторинг в Казахстане осуществлялся сетью сейсмических станций Сейсмологической опытно-методической экспедиции (СОМЭ) МОН РК. Станции этой экспедиции были сконцентрированы в основном на юге и юго-востоке страны (рисунок 2), все они были трехкомпонентными, сейсμοприемники располагались в штольнях, шурфах, на постаментах на поверхности грунта. Обработка данных мониторинга с составлением каталогов землетрясений проводилась также в СОМЭ.

Высокая плотность станций в районе Северного Тянь-Шаня близ г. Алматы и низкая в других регионах отразилась на эффективности сети по уровню представительного энергетического класса. Минимальный уровень представительной регистрации ($K=6$ энергетического класса) был обеспечен именно в районе хребтов Заилийский и Кунгей Алатау близ г. Алматы. На удалении во всех направлениях в пределах сейсмоактивной части Казахстана этот уровень возрастал до 9–10. Как видно из рисунка 2, практически 85% территории Казахстана не было охвачено сейсмическими наблюдениями и, с точки зрения изучения сейсмичности, эта территория остава-

лась белым пятном.

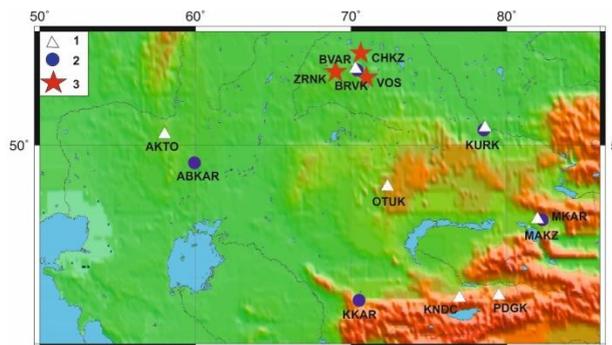
Установка нескольких дополнительных трехкомпонентных станций вряд ли кардинально изменила бы ситуацию, поскольку для локализации источников сигналов потребовалась бы сеть станций с определенной плотностью. В этом отношении сейсмическая группа имеет неоспоримые преимущества перед единичной станцией - даже по одной группе, зарегистрировавшей близкие или региональные события, источник может быть локализован. Обработка записей сейсмических групп предусматривает определение времен вступления различных сейсмических фаз, азимута на источник (баказимута), а также кажущейся скорости. Разность времен вступлений сейсмических фаз позволяет оценить эпицентрально-расстояние. По расстоянию и баказимуту может быть найден эпицентр. Кажущаяся скорость помогает в правильной интерпретации типа сейсмической волны. Баказимут и кажущаяся скорость сейсмических сигналов определяются с использованием пространственно-временного спектрального анализа записей ($f-k$ – анализ) [9]. В КНЦД для этих целей используются программные пакеты Seetools (предоставлен национальным центром данных США, US NDC) и Geotool [10]. В последнее время применяется также корреляционный метод определения азимута и кажущейся скорости сигналов [11], составляющий основу программного пакета PMCC – Progressive Multi Channel Correlation (предоставлен французским национальным центром данных).

По сейсмическим группам имеется возможность обнаружения и параметризации более слабых событий, чем по отдельной трехкомпонентной станции за счет того, что соотношение сигнал/шум может быть значительно увеличено, максимально до $G=\sqrt{N}$ раз (N – количество элементов группы), за счет суммирования отдельных трасс с учетом задержек во времени.



Рисунок 2. Схема расположения сейсмических станций СОМЭ МОН РК

На рисунке 3 приведена схема расположения сейсмических станций, в том числе сейсмических групп, работающих под управлением РГП ИГИ на территории Казахстана.



1 – трехкомпонентная сейсмическая станция; 2 – сейсмическая группа; 3 – сейсмические группы Зеренда, Чкалово, Восточная большебазовой системы Боровое, находящиеся на модернизации)

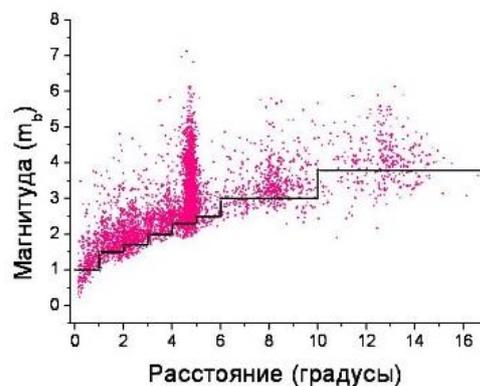
Рисунок 3. Схема расположения сейсмических станций РГП ИГИ

Из рисунка 3 видно, что сейсмические группы расположены по периметру Казахстана, что позволяет с успехом использовать их данные для сейсмомониторинга как внутри территории, так и за её пределами. Отметим, что новые группы расположены в существенно разных с точки зрения сейсмических условий районах: две из них – Маканчи (МКАР) и Каратау (ККАР), – в сейсмически активных областях восточного и южного Казахстана, три других – Акбулак (АВКАР), Боровое (ВВАР) и Курчатов (КУРК), – в асейсмичных или слабоактивных районах.

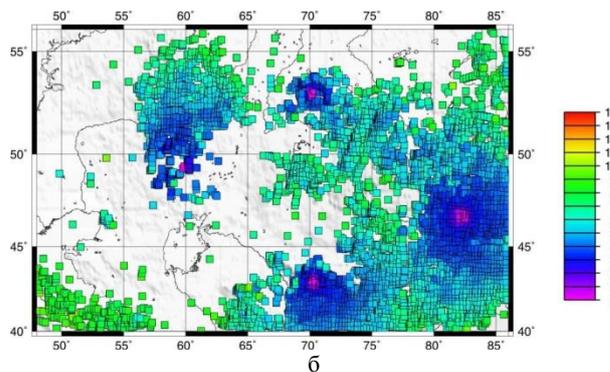
Результаты работы сети сейсмических групп коренным образом изменили взгляд на сейсмичность всей территории Казахстана. Во-первых, выявлены новые сейсмически активные области в той части территории, которая раньше считалась асейсмичной в соответствии с действующей картой общего сейсмического районирования Казахстана [12]. Во-вторых, там, где и раньше было известно о наличии сейсмичности, благодаря высокой эффективной чувствительности сейсмических групп, удалось зарегистрировать и локализовать слабые события, тем самым детализировать сейсмическую обстановку в районе групп. На рисунке 4-а приведен пример графика дальности регистрации событий разной магнитуды сейсмической группой Маканчи в диапазоне эпицентральных расстояний до 15°, а также карта минимальных регистрируемых энергетических классов событий на территории Казахстана и сопредельных стран Центральной Азии (рисунок 4-б).

По сравнению с трехкомпонентными станциями сейсмическая группа на одних и тех же расстояниях способна представительно (без пропусков) регистрировать события почти на единицу магнитуд меньше [13]. Из рисунка 4-б видно, что вблизи самой группы регистрируются события с магнитудой от $m_b=0$ и выше. По сейсмическим группам Маканчи и Каратау получены детальные данные о сейсмичности непосредственно в районах расположения групп, установлены ранее неизвестные районы как

природных, так и искусственных событий (промышленные, учебные военные взрывы). Анализ аналогичных графиков дальности по всем сейсмическим группам показал, что для территории Казахстана в настоящее время представительной магнитудой m_b событий является $m_b=3,5$, по энергетическим классам $K=8,5$.



а



б

Красные точки – события из оперативного сводного бюллетеня КНЦД; черная линия – уровень представительных магнитуд; цветовая шкала – энергетические классы

Рисунок 4. К оценке эффективности сейсмических групп: а – график дальности регистрации событий сейсмической группой Маканчи; б – карта минимальных энергетических классов K событий (по данным интерактивного сейсмического бюллетеня КНЦД)

На рисунке 5 приведена карта эпицентров сейсмических событий разной природы (в основном, землетрясений и промышленных взрывов) на территории Казахстана за 2014–2015 гг.

Из рисунка 5 следует, что на всей территории Казахстана проявляется активная сейсмичность, ежегодно регистрируется более 10000 сейсмических событий. Но, безусловно, не все эти события являются природными землетрясениями. Полученные данные стали стимулом к изучению критериев идентификации природных землетрясений на фоне большого количества различного рода техногенных сигналов. Впервые в результате полевых работ и сбора литературных данных были установлены все районы, где действуют объекты, активно проводящие взрывные работы (добыча полезных ископаемых,

военные учебные взрывы). Регистрируемые сейсмические события от таких источников создают трудности для изучения естественных сеймотектонических событий, проведения исследований геодинамического состояния земной коры и литосферы, а также для решения практических задач сейсмической безопасности. Идентификация природы источников необходима также для создания сейсмических каталогов, свободных от техногенных событий, содержащих только достоверные сведения о тектонических землетрясениях, поскольку такие каталоги являются основным источником для обоснования оценки сейсмической опасности различных регионов.

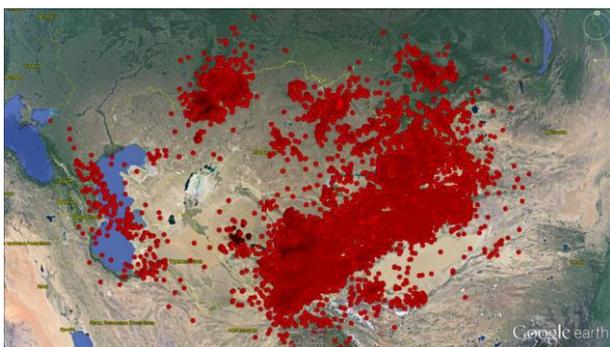


Рисунок 5. Карта эпицентров сейсмических событий за период 2014 - 2015гг. по данным КНЦД

С другой стороны, при изучении платформенных областей все большее внимание уделяется взаимодействию процессов техногенного происхождения и природной сейсмичности, процессов накопления и развития медленных деформаций вплоть до возникновения природно-техногенных землетрясений [14]. В таких районах, как показали оценки, поток высвобожденной сейсмической энергии, генерируемой взрывными работами, на 2 - 4 порядка может превышать потоки энергии от природных землетрясений. К изучению разных типов источников, их идентификации в сейсмических бюллетенях, составлению каталогов землетрясений для всей территории Казахстана обращается все больше исследователей. Данные сейсмических групп, современные методы спектрального и корреляционного анализа, сбор независимых данных о карьерах позволили распознавать природу абсолютного большинства событий, создавать базы данных с указанием этой природы. Ежегодно в сейсмических бюллетенях Казахстана специальными метками индексируется порядка 4000 и более промышленных взрывов. Результаты работ по идентификации природы сейсмических событий передаются в Международные центры ISC и EMSC.

Безусловным достижением последних лет является появившаяся возможность инструментальной регистрации землетрясений в Западном Казахстане. В этом регионе удалось получить инструментальные записи землетрясений естественной природы, а также землетрясений, вызванных техногенной деятель-

ностью в районах активной добычи углеводородного сырья. Ранее в различных источниках [15, 16] приводились сведения о возможных землетрясениях и существующих сейсмогенерирующих зонах в этом регионе Казахстана, хотя убедительных инструментальных подтверждений этому не было. По данным последних лет среди природных событий Западного Казахстана особое место занимает Шалкарское землетрясение 26 апреля 2008 г., $M_s=4,7$, интенсивность 7 баллов в эпицентре. Событие зарегистрировано практически всеми станциями РГП ИГИ, их данные были переданы в Международные центры. Природа этого события трактуется как естественное тектоническое землетрясение, связанное с карстовым процессом и активным диапиризмом. 18 июля 2008 г. в очаговой области Шалкарского землетрясения был зарегистрирован один афтершок с магнитудой $m_b=3,2$. Его запись получена только благодаря сейсмической группе Акбулак [17].

Среди техногенных событий, зарегистрированных в Западном Казахстане, следует отметить события в районе месторождения Тенгиз. По данным сети РГП ИГИ, начиная с 2011 г., здесь зарегистрировано более 20 событий с магнитудой $> 2,5$. Наиболее сильное из них – 21 февраля 2011 г., имело магнитуду 4,3 и проявилось на месторождении с интенсивностью 4 балла.

На рисунке 6 приведена карта эпицентров землетрясений для слабоактивной территории Казахстана, построенная в КНЦД в рамках проекта ТОО «Институт сейсмологии РК» по созданию новой карты сейсмического зонирования Казахстана (до 2000 г. при ее построении использованы данные международных центров и литературные данные).

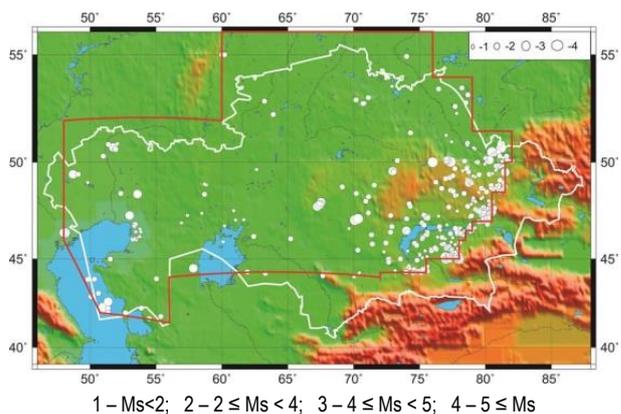


Рисунок 6. Карта эпицентров землетрясений в слабоактивных районах с исторических времен по 2015 г.

Таким образом, по данным сети станций РГП ИГИ впервые удалось получить информацию о землетрясениях на территории Казахстана, считавшейся асейсмичной, систематизировать информацию о промышленных взрывах, вести на этой территории постоянный сейсмический мониторинг с представлением данных в Международные центры ISC и EMSC [18].

2. ВЫЯВЛЕНИЕ С ПОМОЩЬЮ СЕЙСМИЧЕСКИХ ГРУПП НОВЫХ ТИПОВ СЕЙСМИЧЕСКИХ ИСТОЧНИКОВ И ИХ ПАРАМЕТРИЗАЦИЯ

Несмотря на то, что сейсмические станции регистрируют широкий класс источников (не только импульсных, но и постоянно действующих), не все из них могут быть изучены по данным трехкомпонентных станций. Записи сейсмических групп позволили изучить и параметризовать такие источники, как микросейсм. По записям казахстанских групп – сейсмических и инфразвуковых, – удалось доказать, что в низкочастотном диапазоне регистрируются именно микросейсм и микробаромы от океанических штормов, вызывающих образование стоячих водяных волн [19], определить места генерации сейсмических и инфразвуковых волн. При решении этой задачи использованы данные сейсмических групп Акбулак, Боровое, Каратау, Маканчи и инфразвуковой группы Актюбинск [19]. Для детектирования применен метод прогрессивной многоканальной корреляции РМСС, позволяющий детектировать когерентные сигналы, определить направление на источники и оценить ряд других параметров. Применение РМСС к записям групп показало, что большинство сигналов с периодами 2,5 с – 12,5 с имеют источники, расположенные к северо-западу от групп. Локализация источника по баказимутам нескольких сейсмических групп определила область в северной части Атлантического океана. Сопоставление их с данными о динамике распределения и силе штормовых областей по данным Европейского центра среднесрочного метеорологического прогноза (ECMWF) [20] дало очень хорошие результаты. Места генерации низкочастотных когерентных сигналов – микросейсм и микробаром, определенные с учетом систематической поправки в значениях баказимутов, совпадают с участками максимальной энергии океанических волн. Сейсмическими группами Акбулак, Боровое и инфразвуковой группой IS-31 регистрируются сигналы из северной Атлантики, а сейсмическими группами Маканчи и Каратау регистрируются и другие компоненты с источниками в других районах.



- ★ – сейсмическая или инфразвуковая группа;
- × – место генерации микросейсм и микробаром

Рисунок 7. Взаимное расположение наблюдательных групп и места генерации микросейсм и микробаром

Другой новый источник, выявленный по записям сейсмических групп, – ледовые и ледниковые землетрясения. Первоначально было замечено, что прак-

тически ежедневно на записях сейсмической группы Маканчи наблюдаются однотипные сигналы (рисунок 8).

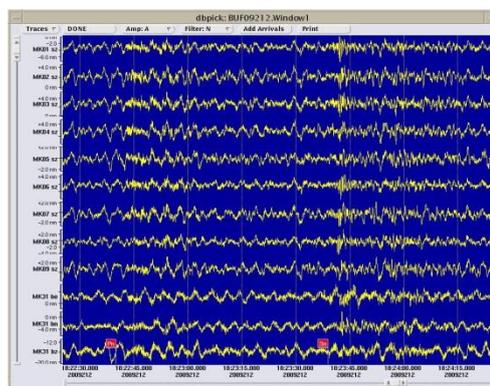


Рисунок 8. Вид записи ледового землетрясения на сейсмограммах группы Маканчи

То, что эти сигналы относятся к источникам из одного и того же района, подтверждалось близкими временами T_s - T_p и значениями баказимутов по данным f-k-анализа (рисунок 9).

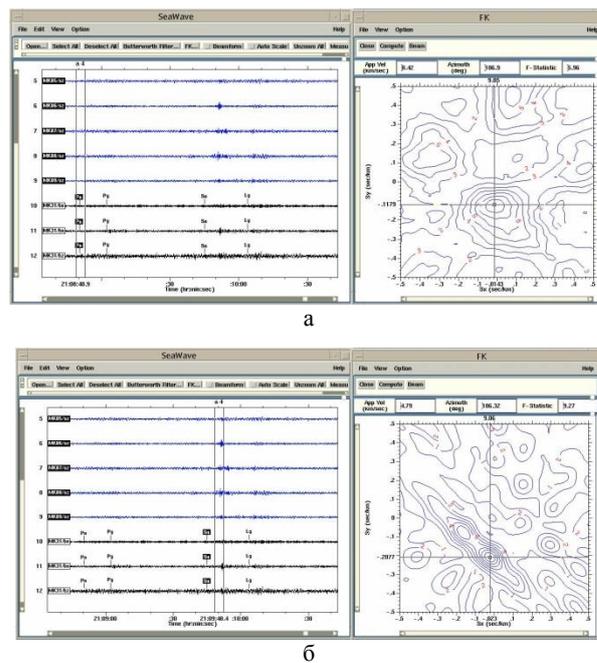
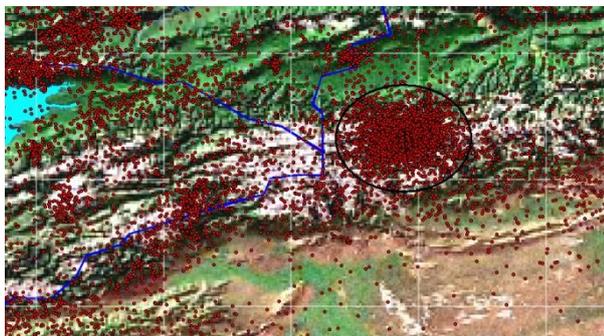


Рисунок 9. Результаты f-k-анализа записи одного из событий (ледового землетрясения) для волн: а – Pn; б – Sn

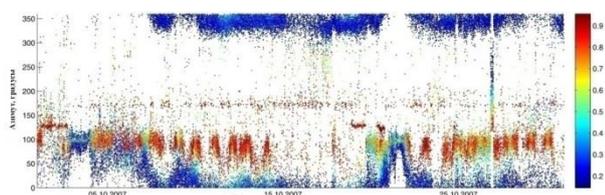
Эпицентры выявленных событий находятся на расстояниях ~ 500 км от сейсмической группы Маканчи, в диапазоне азимутов 185 - 190 градусов, в, так называемом, районе «высокий Тянь-Шань» (горы высотой >6000 м вблизи границ Китая с Кыргызстаном и Казахстаном, с самой высокой точкой «Пик Победы», 7439 м). Все регистрируемые события определены как близповерхностные, слабые – энергетических классов $K=5 - 7$. Установлена связь событий с температурным режимом суточным и се-

зонным, что позволило предположить в качестве причины этих событий образование ледовых трещин при понижении температуры.

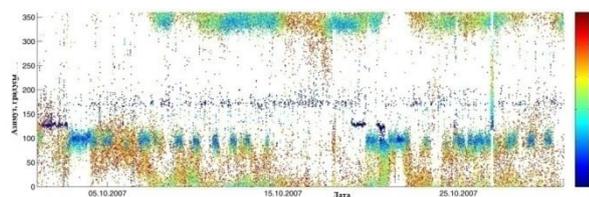


Овал – граница исследуемой группы эпицентров

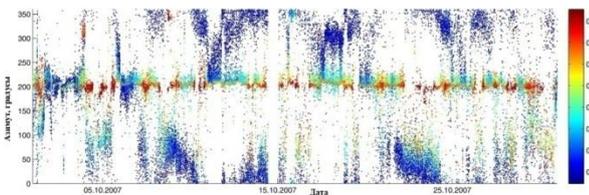
Рисунок 10. Карта эпицентров ледовых землетрясений



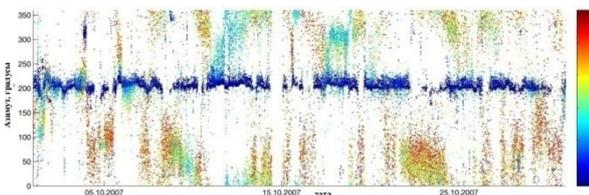
а



б



в



г

Верхний ряд – частота, Гц;
нижний ряд – кажущаяся скорость, км/сек

Рисунок 11. РМСС – диаграммы по записям изучаемых событий сейсмических групп: а, б – Каратау; в, г – Маканчи

Были проанализированы также данные сейсмической группы Каратау, которые показали, что и эта группа регулярно регистрирует сигналы ледовых землетрясений. На рисунке 11 приведены результаты

обработки записей с использованием РМСС по обеим сейсмическим группам, которые четко демонстрируют детектирование сигналов из одной области, которая локализуется по азимутам этих групп. Баказимут по Каратау составляет примерно 100 град., по Маканчи – 190 град. Область пересечения этих азимутов совпадает с областью ледников высотного Тянь-Шаня.

Еще один класс событий, изученных по записям сейсмических групп Маканчи и Акбулак, – грозовые явления. Оценены уровни колебаний и волновые формы при грозовых ударах.

Новым для станций Казахстана сейсмическим источником явился взрыв Челябинского болида. Впервые получена и проанализирована волновая картина от удара взрывной волны о Землю, локализовано место удара, оценены энергетические характеристики этого явления.

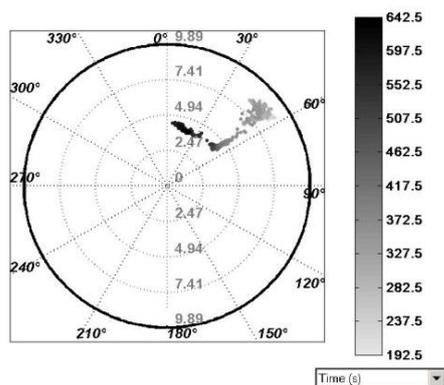
3. ДЕТАЛЬНОЕ ИЗУЧЕНИЕ ВОЛНОВЫХ ПОЛЕЙ ОТ РЕГИОНАЛЬНЫХ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ В ИЗУЧЕНИИ ЛИТОСФЕРНЫХ НЕОДНОРОДНОСТЕЙ В ЦЕНТРАЛЬНОЙ АЗИИ

Сейсмические группы предоставили уникальную возможность для анализа тонкой структуры волновых полей и построения моделей среды распространения сейсмических волн. Короткопериодные волны Sn, Lg и их кода несут важную информацию о строении земной коры и верхней мантии.

Впервые в 1988 г. [21] на временной малоапертурной группе, установленной на реке Или в юго-восточном Казахстане КСЭ ИФЗ АН СССР, изучались записи коровых и глубокофокусных землетрясений на региональных расстояниях (470 - 1090 км). Было отмечено, что волновые поля всех землетрясений обладают сходными характеристиками: устойчиво сохраняется азимут, близкий к направлению на эпицентр при достаточно больших временах (вплоть до времен $t=t_{LG}+100c$, где t_{LG} момент вступления волны Lg по годографу для коровых землетрясений). Через несколько десятков секунд в Lg-коде азимуты начинают заметно отклоняться от направления, определенного по Р – волнам. До времен $t=t_{LG}+150c$ средние отклонения от истинного азимута на эпицентр достигали 40°. Для каждого землетрясения эти отклонения в значениях баказимутов устойчиво сохраняют знак. Для всех эпицентров в юго-западном секторе от группы отклонения имеют знак плюс (по часовой стрелке), для восточного сектора – противоположный знак. Кажущиеся скорости для групп Lg в течение нескольких десятков секунд находятся, как правило, в пределах 3,0 - 4,0 км/с. Авторы сделали вывод, что короткопериодная кода сформирована поперечными волнами, которые распространяются в мантии. Доминирующий механизм формирования коды – это совокупность однократно и многократно отраженных поперечных волн от многочисленных слабых коровых и мантийных границ. Закономерное отклонение средних направлений подхода волновых

групп в коде, по мнению авторов работы, свидетельствовало о «боковой рефракции лучей в верхней мантии»

В 2003 г. при анализе записей сейсмических групп Каратау и Боровое Чуйского землетрясения на Алтае (27.09.2003 г., Mw=7,0) в КНЦД был обнаружен эффект, похожий на описанный в [22]. В коде Lg-волн для времен примерно в течение 5 мин. с момента первого вступления среднее значение азимута стабильно и совпадает с направлением на эпицентр события. Для больших времен баказимут закономерно изменяется более, чем на 40° на север для станции Каратау и примерно на столько же на юг для станции Боровое (рисунок 12).

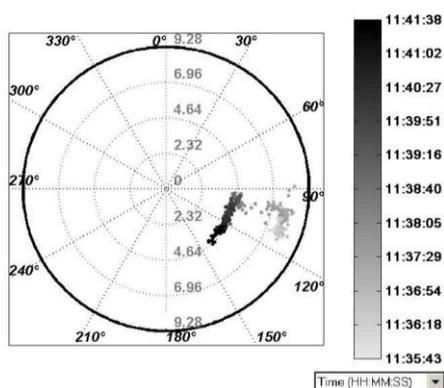


27-Sep-2003 : 11:36:13 => 11:43:42

818 value(s)

Speed = 5.931 ± 1.959 km/s
Azimuth = 45.2 ± 13.9 °
Frequency = 5.537 ± 2.865 Hz
Amplitude = 884.354 ± 1858.195 Pa RMS

а



27-Sep-2003 : 11:35:43 => 11:41:38

455 value(s)

Speed = 5.580 ± 1.535 km/s
Azimuth = 109.5 ± 10.7 °
Frequency = 4.420 ± 2.683 Hz
Amplitude = 2011.596 ± 2869.098 Pa RMS

б

Рисунок 12. Полярные диаграммы «скорость – баказимут» по записям Алтайского (Чуйского) землетрясения 2003 г. для двух сейсмических групп: а - Каратау; б - Боровое

Устойчивость выявленного эффекта была подтверждена аналогичными исследованиями по тем же трассам для всех сильнейших афтершоков Чуйского землетрясения [22]. Картина повторилась до деталей. По сейсмической группе Маканчи такой эффект для этого события не был отмечен.

Французские коллеги из CEA/DASE продолжили изучение сейсмической коды по казахстанским сейсмическим группам, расширив количество исследуемых региональных землетрясений до 28 событий. Задача состояла в улучшении представления о том, как неоднородности геологической среды взаимодействуют с сейсмическим волновым полем, каковы формы и характеристики этих неоднородностей. Были использованы именно малоапертурные сейсмические группы в комплексе с современными алгоритмами обработки типа РМСС, что является эффективным инструментом для анализа региональных фаз [23]. Оценена плотность детектированных - количество РМСС детектированных в ячейке время-азимут длительностью 50 с и длиной 5 град., поделенное на количество имеющихся событий в каждом кластере. Наблюдаются закономерные изменения во времени характеристик коды, когда после определенного времени от вступления Lg для трех южных групп (Каратау, Акбулак, Маканчи) отмечен асимптотический режим в изменении значений баказимута. Эти наблюдения приводят к отличающейся от классической интерпретации коды Lg, утверждающей, что волны в коде Lg имеют случайные направления. Характеристики коды зависят от взаимного расположения источника землетрясений и сейсмической группы относительно геологических блоков. Эти зависимости показывают, что литосфера Центральной Азии горизонтально неоднородна. На коду влияет неоднородная топография, сложное геологическое строение и распределение неоднородностей, что ведет к латеральной изменчивости скорости по простиранию, связанной с затуханием и рассеиванием. В целом, результаты расчетов плотности детектированных по всем сейсмическим группам подтвердили общую картину поведения значений азимутов, выявленную при Чуйском землетрясении и по другим событиям «восточного» кластера.

Таким образом, записи сейсмических групп позволили детализировать особенности коды от землетрясений Тянь-Шаня и предложить для их объяснения наличие масштабной неоднородности в Центральном Казахстане. Волны, которые проходят через эту область, должны иметь малое затухание. В действительности, так называемый Казахстанский ороклад [25] гораздо менее гетерогенен, чем окружающие его структуры (Урал, Алтай, Тянь-Шань). Этим явлением можно объяснить тот факт, что самые энергетически высокие детектирования идут к сейсмическим группам с направлений от Казахстанского орокладина. Исследования продолжаются, с по-

мощью моделирования уточняются параметры неоднородности и ее положение в пространстве.

Таким образом, можно утверждать, что сейсмические группы Казахстана сыграли прогрессивную роль не только в глобальном мониторинге ядерных взрывов и землетрясений, что важно для всего мирового сообщества сейсмологов, но и в региональном мониторинге природной и техногенной сейсмичности, а также внесли весомый вклад в более глубокое понимание явлений формирования региональных сейсмических волн и использование новых представлений для изучения особенностей строения коры и мантии.

БЛАГОДАРНОСТИ

Автор приносит глубокую благодарность всем организациям, сотрудничающим с Казахстанским

национальным центром данных, участвовавшим в создании сейсмических групп (СТВТО, АФТАС) и любезно предоставивших программные пакеты (АФТАС, IDC, СЕА/DASE, NORSAR) для обработки данных, а также проводивших совместные с КНЦД работы и обсуждение научных результатов. Автор благодарит также своих коллег из Казахстанского центра данных за участие в обработке материалов и их анализе, ставших основой для написания данной статьи: Смирнова А.А., Соколову И.Н., Комарова И.И., Полешко Н.Н., Аристову И.Л., Мукамбаева А.С. Автор отдельно отмечает огромный вклад в разработку методик по использованию данных сейсмических групп в рутинной обработке и их сейсмической калибровке Синева З.И.

ЛИТЕРАТУРА

1. Тухватулин, Ш.Т. Система геофизического мониторинга, созданная в Национальном ядерном центре Республики Казахстан, и её возможности / Ш.Т. Тухватулин, Л.Н. Тихомиров, Н.Н. Беляшова [и др.] // Геофизика и проблемы нераспространения: Вестник НЯЦ РК, 2002. - Вып. 2. - С.5–8.
2. Договор о всеобъемлющем запрещении ядерных испытаний (ДВЗЯИ). Издано Подготовительной комиссией ДВЗЯИ. - Вена, Австрия, 2001.- 153 с.
3. Беляшова, Н.Н. Вместе с организацией по Договору о всеобъемлющем запрещении ядерных испытаний в поддержку безъядерного мира: 12 лет / Н.Н. Беляшова, Н.Н. Михайлова // Вестник НЯЦ РК, 2008. - Выпуск 2. - С.5–15.
4. Беляшова, Н.Н. Казахстанско-Американское взаимодействие в поддержку ядерного нераспространения: десятилетний опыт / Н.Н. Беляшова, Н.Н. Михайлова // Вестник НЯЦ РК 2008. - Выпуск 2. - С.16 – 20.
5. Электронный ресурс Казахстанского национального центра данных www.kndc.kz
6. Михайлова, Н.Н., Сейнасинов Сопоставление записей трех северо-корейских ядерных испытаний по данным казахстанских станций / Н.Н. Михайлова, Н.Сейнасинов // Вестник НЯЦ РК., 2014. - Вып. 1. - С. 117–124.
7. Соколова И.Н., Михайлова Н.Н. О сейсмическом событии 6 января 2016 года в районе Северной Кореи / И.Н. Соколова, Н.Н. Михайлова // Вестник АО КАЗНИИСА. - Наука. - 2016. - N 3. - С.30–39.
8. Краснощеков, Д.Н. Разномасштабные неоднородности глубинных оболочек Земли как отражение динамических процессов комплексной системы внутреннее – внешнее ядро: дис. док. физ.-мат. наук. М.2016.
9. Capon, J. High-resolution frequency-wavenumber spectrum analysis / J. Capon // Proceedings of the IEEE, 1969. - Vol. 57. Iss.8. - P.1408 - 1418.
10. Coyne, J. M. Geotool Sourcebook: User's Manual / J. M. Coyne, I. Henson // Philips Laboratory Technical Report PL-TR-96-2021, 1995.
11. Cansi, Y., An automatic seismic event processing for detection and location: the PMCC method / Y. Cansi // Geophys. Res. Lett., 1995. – 22. – P. 1021 – 1024.
12. СНиП РК 2.03-30-2006. Строительство в сейсмических районах. Комитет по делам строительства и жилищно-коммунального хозяйства МИИТ РК. - Алматы, 2006.
13. Синева, З.И. Магнитудная чувствительность сейсмической группы Маканчи / З.И. Синева, Н.Н. Михайлова // Прогноз землетрясений, оценка сейсмической опасности и сейсмического риска Центральной Азии.: Сб. докл. 7-го Казахстанско-Китайского Международного Симпозиума 2 - 4 июня 2010 г. - Алматы; «Эверо», 2010. – С. 367 – 370.
14. Взрывы и землетрясения на территории европейской части России / Под ред. В.В. Адушкина и А.А. Маловичко. – М.: ГЕОС, 2013. – 382 с.
15. Никонов, А. А. Разрушительное землетрясение на Мангышлаке / А. А. Никонов // Физика земли, 1994. - № 5. – С. 71 - 74.
16. Нурмагамбетов А. О сейсмичности и сейсмической опасности Мангыстауского региона / А. Нурмагамбетов // Доклады Министерства науки – Академии наук РК. - Алматы, 1996. - С. 47 - 53.
17. Михайлова, Н.Н. Сейсмичность западного Казахстана по данным сети НЯЦ РК / Н.Н. Михайлова, И.Н. Соколова, А.Е. Великанов, Н.Н. Полешко // Сейсмопрогностические наблюдения на территории Азербайджана: РЦСС НАНА, 2012. – С.329 – 336.
18. Синева, З.И. Сейсмические данные сети НЯЦ в региональном и глобальном мониторинге / З.И. Синева, Н.Н. Михайлова // Прогноз землетрясений, оценка сейсмической опасности и сейсмического риска Центральной Азии.: Сб. докл. 7-го Казахстанско-Китайского Международного Симпозиума 2 - 4 июня 2010 г. – Алматы: «Эверо», 2010. – С. 231 - 233.
19. Смирнов, А.А. Определение природы и районов генерации микросейсм и микробаром по комплексу сейсмологических, инфразвуковых и метеорологических данных / А.А. Смирнов // Прогноз землетрясений, оценка сейсмической опасности и сейсмического риска Центральной Азии.: Сб. докл. 7-го Казахстанско-Китайского Международного Симпозиума 2 - 4 июня 2010 г. - Алматы: «Эверо», 2010. – С. 183 - 186.
20. Электронный ресурс http://data-portal.ecmwf.int/data/d/interim_daily/

21. Каазик, П.Б. Исследование структуры волновых полей по группе станций / П.Б. Каазик, Ю.Ф. Копничев, М.Х. Рахматуллин // Сейсмические волновые поля. – М.: Наука, 1992. – С.16 – 26.
22. Михайлова, Н.Н. Анализ сейсмических и инфразвуковых данных станций Казахстана по Алтайскому землетрясению 2003 г. / Н.Н. Михайлова, А.А. Смирнов // Сильное землетрясение на Алтае 27 сентября 2003 г.: Материалы предварительного изучения. – М.: ИФЗ РАН, 2004.
23. Mikhailova, N. Detailed analysis of regional seismic phases using array processing: Examples of anomalous observations / N. Mikhailova, A. Smirnov, Y. Cansi, J. Guilbert, O. Sebe // Poster presented at European Seismological Commission 32nd General Assembly, Montpellier, France, 6 - 10 September 2010, 2010.
24. Labonne, C. Detailed analysis of the far-regional seismic coda in Kazakhstan using array / C. Labonne, O. Sèbe, A. Smirnov, S. Gaffet, Y. Cansi, N. Mikhailova // BSSA (в печати).
25. Xiao, W. A review of the western part of the altaids: a key to understanding the architecture of accretionary orogens / W. Xiao, B. Huang, C. Han, S. Sun, J. Li // Gondwana Research, 2010. – P. 253–273.

ҚАЗАҚСТАНДА СЕЙСМИКАЛЫҚ ТОПТАРЫ АШЫЛУ АРҚАСЫНДА АЛЫНҒАН МАҢЫЗДЫ НӘТИЖЕЛЕР

Михайлова Н. Н.

Геофизикалық зерттеулер институты, Курчатов, Қазақстан

Қазақстан аумағында орналастырылған сейсмикалық топтардың деректерін пайдалану нәтижелері келтірілген. Ядролық сынақтардың мониторингісінен басқа, аймақтық сейсмология үшін маңызды болып келетін, осы деректерді пайдаланудың үш негізгі бағыттары беліленген: жерсілкінулер мен өнеркәсіптік жарылыстардың мониторингі, жаңа сейсмикалық көздерін айқындау және оларды параметрлеу, Lg-толқынның «алыс» кодасы қалыптастырылу туралы жаңа деректерді алу үшін жерсілкінулер жазбаларының толқындық құрылымын толық талдау.

IMPORTANT RESULTS OBTAINED AFTER SEISMIC ARRAYS INSTALLATION IN KAZAKHSTAN

N. N. Mikhailova

Institute of Geophysical Researches, Kurchatov, Kazakhstan

The results of data usage of seismic groups located at the territory of Kazakhstan are presented. Besides nuclear testing monitoring three main direction of the data usage essential for regional seismology: seismic monitoring of earthquakes and industrial explosions, revealing of new seismic sources and its parameterization, detailed analysis of wave structure of earthquakes records for new data acquisition concerning formation of “far” code of Lg-waves are identified.