

УДК 550.344

## 100 ЛЕТ КЕМИНСКОЙ КАТАСТРОФЕ: НОВЫЕ ДАННЫЕ ОБ ОЧАГЕ

Мукамбаев А.С., Михайлова Н.Н.

*Институт геофизических исследований, Курчатов, Казахстан*

Собраны и обобщены данные, в том числе новые, в отношении параметров очага катастрофического Кеминского землетрясения 1911 г. Установлены завышение магнитуды этого события в каталогах землетрясений Казахстана. Выявлены расхождения в положении эпицентра Кеминского землетрясения в глобальных и региональных каталогах. Результаты проведенного изучения этого землетрясения следует учитывать в работах по сейсмическому районированию и прогнозу сейсмических воздействиях на ответственные объекты.

**ВВЕДЕНИЕ**

Катастрофическое Кеминское землетрясение произошло почти 100 лет назад 3 января 1911 года вблизи города Верный (Алматы). Магнитуда землетрясения в каталогах землетрясений, составленных в Советском Союзе и международных каталогах [3, 8], оценивалась  $M=8,2$ , а максимальная интенсивность в эпицентре достигала 10–11 баллов. Таким образом, это событие попало в список самых сильных внутриконтинентальных землетрясений XX века и в число пяти землетрясений Центральной Азии с магнитудой, превышавшей 8. Землетрясение было исключительным не только по силе, но и по площади распространения сотрясений. По многочисленным свидетельствам жителей г. Верного «землетрясение началось сильными горизонтальными ударами и закончилось колебаниями во все стороны, причем их продолжительность была исключительно большая. Будто гигантские руки схватили наше жилище и встряхнули его, как встряхивают пузырек с лекарством, чтобы разболтать его содержимое...», – писал один из очевидцев этой катастрофы.

По советским источникам основные параметры землетрясения были определены в основном по макросейсмическим данным и были следующие [3]:

Дата землетрясения.....	3 января 1911 г.
Время начала землетрясения, $t_0$ .....	3 часа 23 минуты (03.23.58)
Координаты центра эпицентральной зоны.....	$\varphi^0=42,90\text{ N}$ , $\lambda^0=76,90\text{ E}$
Магнитуда землетрясения $M$ .....	8,2
Глубина очага $H$ , км.....	25
Горизонтальная протяженность очага $l_x$ , км.....	200
Максимальная сила в эпицентре $I_0$ , баллов.....	> 10–11
Интенсивность $I$ в г. Верный, баллов.....	8–9.

Землетрясение ощущалось на огромной территории. Отмечено качение висячих предметов в г. Омске, Томске, Кокшетау, т.е. на расстоянии свыше 1 000 км. Известны случаи остановки маятниковых часов во многих районах Центральной России.

Долгие годы информация в существующих каталогах не ставилась под сомнение и переходила из одного источника в другой, использовалась при построении карт сейсмического районирования, бралась за основу при расчете сейсмических воздействий на объекты близ г. Алматы. Но в последние годы в мире начались работы по созданию глобальной

модели землетрясений (проект GEM), в задачи которого входило уточнение характеристик всех землетрясений с магнитудой более 5,5. Частью этого проекта стал и проект для Центральной Азии (EMSA). При выполнении этих проектов исследователям стали доступны новые архивные материалы, новые методы изучения очагов и их параметров. Именно для Кеминского землетрясения выявились несоответствия в его характеристиках. Очень важно установить истинные характеристики, поскольку Кеминское землетрясение используется сейчас как эталонное событие при разработке сценариев сильных землетрясений, его параметры положены в основу оценки сейсмopotенциала сейсмогенерирующих зон вблизи г. Алматы, от его магнитуды ведутся расчеты сейсмических воздействий на ответственные объекты.

Целью настоящей работы был сбор различных доступных исторических и современных данных по Кеминскому землетрясению, анализ его параметров для учета в каталогах EMSA и других работах.

**ИСТОРИЧЕСКИЕ ДАННЫЕ О КЕМИНСКОМ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИИ**

Самые подробные сведения о последствиях Кеминского землетрясения были собраны специально созданной Российским горным обществом экспедицией и Центральным сейсмическим бюро Российской империи сразу после землетрясения экспедицией, которая уже весной 1911 года направилась в г. Верный под руководством профессора горного института К.И. Богдановича.

В экспедиции принимали участие горные инженеры Д.И. Мушкетов, И.М. Карк, Б.Я. Корольков, и два студента горного института Ковалевский и Наливкин. С 12 апреля по 28 мая продолжались непрерывные исследования эпицентральной области. В течение недели с 12 по 19 апреля профессор К.И. Богданович и горный инженер И.М. Карк обследовали последствия землетрясения на территории в г. Верного. Дальше экспедиция продолжалась по трем основным маршрутам:

1) Горный инженер Д.И. Мушкетов и студент Наливкин для осмотра западного района землетрясения пошли маршрутом через перевал Кастек в долину реки Чу и в область Большого Кебина, где произошли крупные нарушения на поверхности земли.

Оттуда Мушкетов прошел северным берегом Иссыккуля до Сазановки, затем из Пржевальска по южному берегу Иссыккуля до Нарына.

2) И.М. Карк отправился из Зайцевки по реке Чилик на Джаланаш и до Пржевальска для осмотра восточного района области землетрясения и для выбора путей для горизонтальной нивелировки. Кроме этого, ему было поручено призвести съемку нескольких площадей со следами сильных нарушений в грунтах около Уйтала, Сазановки и на Большом Кебине. С Б. Кебина он вернулся в г. Верный через перевал Кара-Кастек.

3) К.И. Богданович с 19 апреля по 1 мая совместно с горным инженером Корольковым и студентом Ковалевским обследовали северные склоны Заилиского Алатау между Талгаром и Каскеленом, а с 2 по 28 мая совершили круговой рейс из г. Верного

через перевал Аманжол, Шаты, Турайгыр и Алмалты. Осмотрели долину реки Чилик от Шатов почти до вершины, долину Б. Кебина от района исследования Мушкетова до вершины. Посетили Пржевальск, северный берег Иссыккуля до Сазановки и Чоткала. Сделал несколько разездов по южному и северному склону Кунгей Алатау.

Изучение последствий землетрясения данной экспедицией было выполнено на исключительно высоком уровне. В составленном отчете приведен обширный фактический материал о разрушениях зданий в г. Верном и большом числе окрестных селений, а также об изменениях земной поверхности (разрывы, обвалы, оползни и др.) в эпицентральной зоне, построены карты изосейст и разломов (рисунок 1).

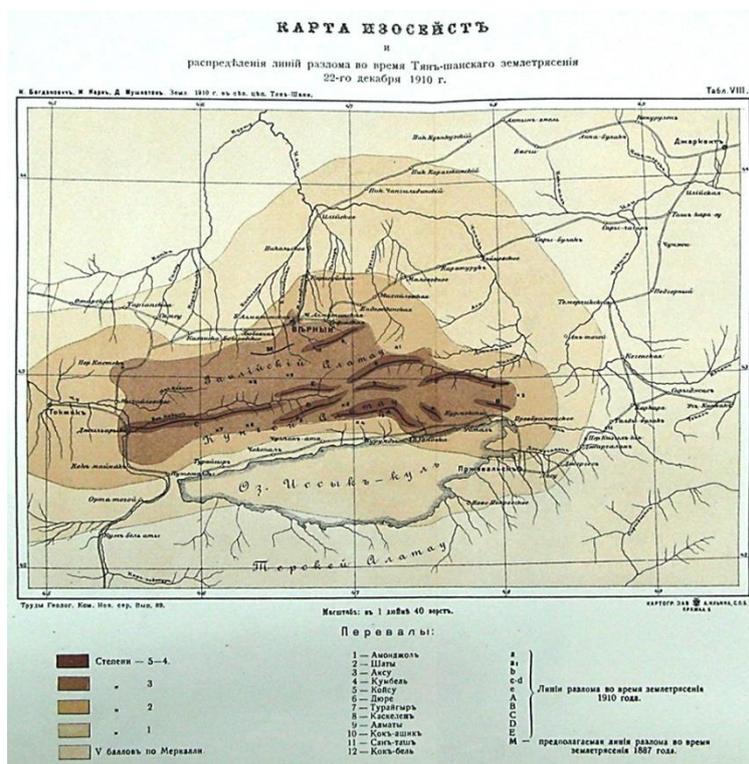


Рисунок 1. Карта изосейст (по шкале интенсивности Меркалли) и распределение линий разломов Кеминского землетрясения

### ПОСЛЕДСТВИЯ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ

В результате землетрясения в г. Верном не осталось буквально ни одного дома, который бы не пострадал хотя бы в малой степени (рисунок 2). Согласно актам оценочной комиссии, число совершенно разрушенных жилых домов достигло 616, требующих капитального ремонта – 301, домов с более легкими повреждениями – 1010, разрушенных торговых помещений и складов – 121, поврежденных – 397, нежилых разрушенных построек – 3 000, поврежденных – 2 000. Наблюдалась деформация почвы в районах Большой и Малой станиц, Кузнечно-промышленных (ниже Ташкентской аллеи) и Клевер-

ных участков, Татарской слободки. Образовались глубокие разрывы почвы: трещины местами достигали ширины 1 метр и глубины 5 метров (рисунки 2, 3).

**Жертвы от землетрясения.** В долине Большого и частью Малого Кемина погибло 245 и ранено 89 человек, юрт было уничтожено 616. В самом г. Верном и в близлежащих станицах погибло 44 и ранено 108 человек. В селе Сазановка погибло 9 и ранено 20 человек. В Токмаке погибло 11 человек. Общее число погибших при Кеминском землетрясении превышает 450 человек.



Рисунок 2. Фото обрушений и деформаций земной поверхности, вызванных землетрясением [4]

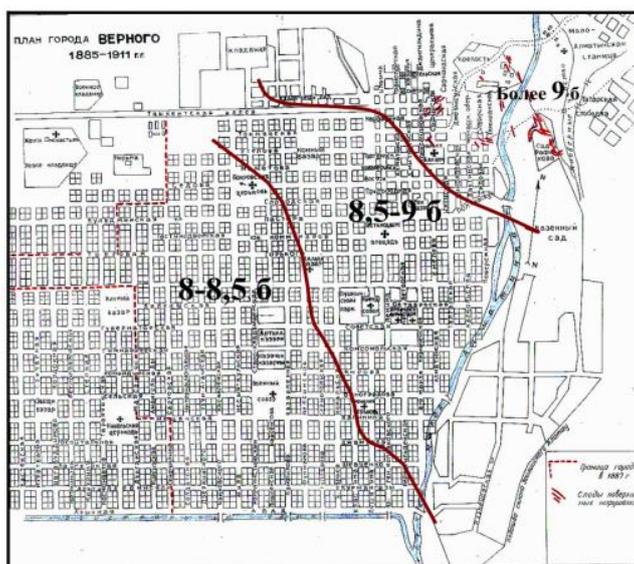


Рисунок 3. План г. Верного и распределение силы сотрясений Кеминского землетрясения 1911 г. (шкала интенсивности MSK-64) [4]

Как видно из карты распределения сотрясений на территории города Верный, в разных частях города интенсивность сотрясений по шкале MSK-64 составила 8–9 баллов в зависимости от инженерно-геологических условий района.

Эпицентральная область землетрясения, где произошли наибольшие изменения поверхности Земли, представляет собой узкую полосу, вытянутую вдоль долины Большого Кемина и верховий р. Чилик до берегов Иссык-Куля. В поперечном направлении она охватывает южные склоны Заилийского Алатау

и северные склоны Кунгей Алатау (рисунок 1). В этой области образовались системы разрывов значительной протяженности. Обвалы в долине Большого Кемина достигали колоссальных размеров. Так, каменный обвал в Чон-Каинды имел высоту более 400 м. Такие же обвалы с вертикальной высотой оторванной части не менее 500–600 м наблюдались к северу от Сазановки в долинах Сутгы-Булак и Тергерменты (рисунок 4).

Очаг Кеминского землетрясения имел огромный размер. Для сравнения на рисунке 5 приведена свод-

ная схема очагов наиболее известных землетрясений Средней Азии и Кавказа, составленная Шебалиным Н.В. [13].

Итак, при анализе параметров Кеминского землетрясения главным образом исследователи учитывали макросейсмические данные о проявлениях это-

го события как на территории г. Верный, так и в горной местности в пределах хребтов северного Тянь-Шаня. С учетом построенной карты изосейст [3] по макросейсмическим данным были рассчитаны магнитуда, глубина очага, установлен макросейсмический эпицентр.

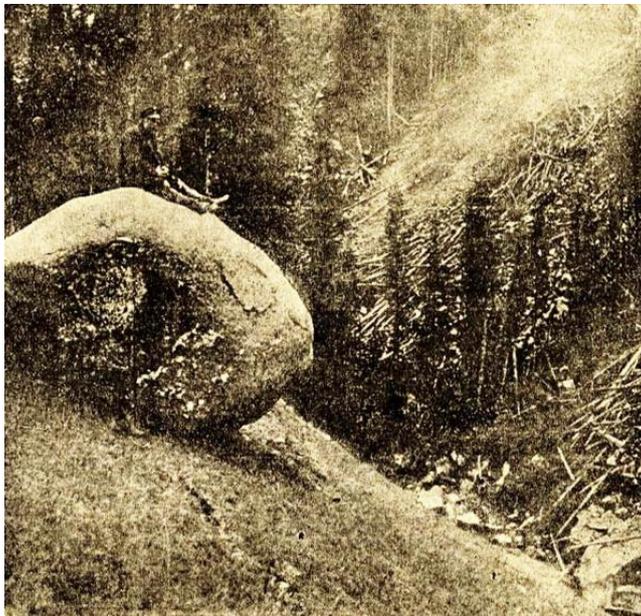


Рисунок 4. Один из упавших во время Кеминского землетрясения камней; склон покрыт сбитыми камнями деревьями (фото Д. Мушкетова)

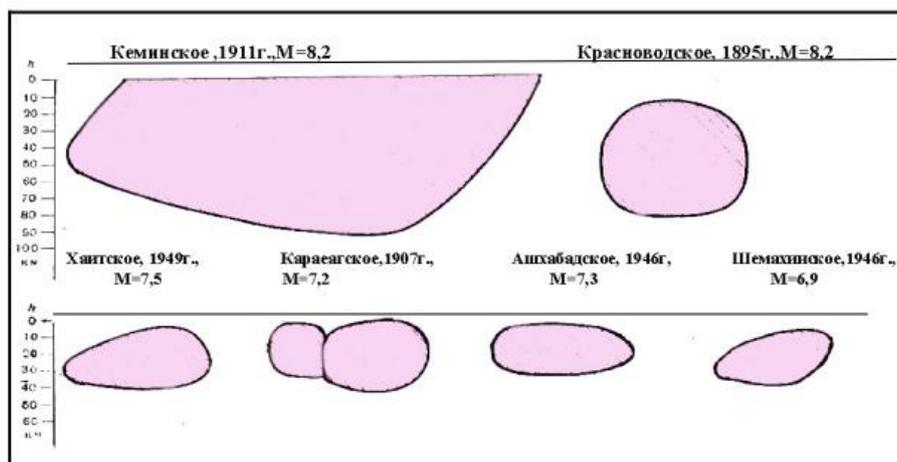


Рисунок 5. Схема очагов некоторых сильных землетрясений (по Н. Шебалину)

#### НОВЫЕ ДАННЫЕ И ОЦЕНКА ПАРАМЕТРОВ КЕМИНСКОГО ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ

Благодаря сотрудничеству между Центром данных (KNDC) и Международным сейсмологическим центром (ISC, Англия) получены новые данные, касающиеся Кеминского землетрясения. В мире имеются записи Кеминского землетрясения (рисунок 6), полученные по 19 сейсмическим станциям, зарегистрировавшим данное землетрясение (таблица 1).

Самой близкой к очагу в 1911 году оказалась сейсмическая станция Тифлис (TIF), а самой далекой – станция Ривервью в Австралии.

Имеющееся сейчас программное обеспечение и новые глобальные скоростные модели среды позволяют по этим записям вновь провести локализацию и определить точку начала процесса разрывообразования. Локализация гипоцентра по этим данным показала, что координаты находятся гораздо восточнее, чем это следует из имеющихся каталогов.

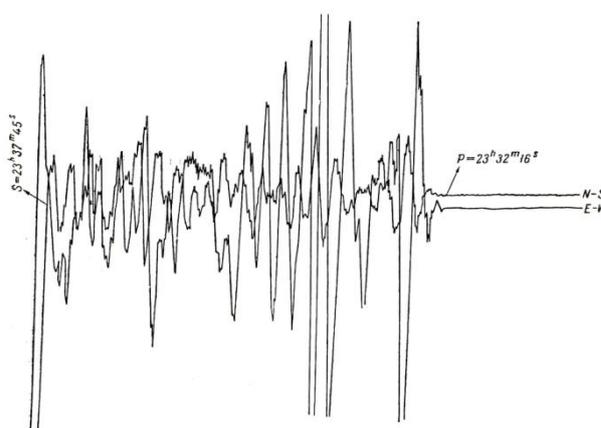
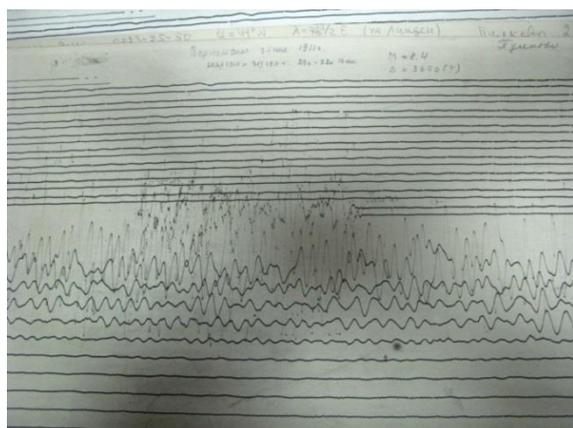


Рисунок 6. Запись Кеминского землетрясения на сейсмической станции Пулжово

Таблица 1. Фрагмент параметров записей Кеминского землетрясения по станциям мира

Обработка события 16958130...									
Автор	Время	$\phi^\circ$	$\lambda^\circ$	Глубина	F	Кол-во станций	Кол-во фаз	Кол-во определений	
GEM	03.01.1911 23:25	43.013	78.530	20.00	H	19	113	47	
Станция	Фаза	Расст.	Дата	Время	Каналл	A	T	A фазы	$\Delta t$
TIF	P	24.86	03.01.1911	23:31:03	?			P	-6.841
TIF	S	24.86	03.01.1911	23:35:37	?			S	5.297
PUL	P	33.53	03.01.1911	23:32:16	?			P	-10.629
PUL	S	33.53	03.01.1911	23:37:45	?			S	-2.322
ZKW	P	35.84	03.01.1911	23:32:48	N	4000	18264,00	P	1.120
ZKW	P	35.84	03.01.1911	23:32:48	E	6000	2,00	P	1.120
ZKW	P	35.84	03.01.1911	23:32:48	?			P	1.120
UPP	P	39.93	03.01.1911	23:33:15	E	2000	6,00	P	-6.094
UPP	P	39.93	03.01.1911	23:33:15	?			P	-6.094

В рамках проекта ЕМСА для Центральной Азии (ЦА), который начал выполняться с 2011 года, основной задачей является построение карты сейсмической опасности, основанной на новой методологии. Для ее построения в вероятностной и детерминистской постановке важно иметь унифицированное представление о сейсмических структурах (разломах) на всей территории Центральной Азии и унифицированный каталог землетрясений для всей территории, желательно как можно за больший период времени. Задача составления каталога с исторических времен по настоящее время для ЦА была выполнена Центром данных РГП ИГИ и в настоящее время каталог пополняется новыми данными.

При сравнении регионального каталога и каталогов Международных центров данных наибольшие расхождения отмечаются в параметрах Кеминского землетрясения. В таблице 2 приведен фрагмент каталогов *GEM (ISC)* и *EMSA(KNDC)*, где видно, что особенно сильно отличаются значения долготы ( $\text{lon}$ ) и магнитуды.

Недавно, Delvaux и др. [5] и Arrowsmith и др. [6] (2005) провели исследовательское картирование разрыва и сдвига масс горных пород, связанных с Кеминским землетрясением. В частности, Delvaux и др. [5] (2001) разделили разрыв на 6 частей с разным направлением, плоскостью падения и кинематикой. Полевая работа, а также анализ стерео-аэросъемки позволили Arrowsmith и др. [6] улучшить представление о геометрии разломов и распределении сдвига в разных частях разлома. Их предпочтительным значением сейсмического момента является  $M_0=3.86 \cdot 10^{20}$  Nm, что соответствует моментной магнитуде, по которой сейчас оценивается сила всех сильных землетрясений,  $M_w=7.72$ . Это значение находится в хорошем согласии с сейсмическим моментом  $M_0=4.9 \cdot 10^{20}$  Nm, оцененным для этого землетрясения в другой работе Chen и Molnar (1977) при анализе поверхностных волн, записанных на двух станциях, одна из которых находится в Париже, а вторая в Ривервю (Австралия) [7].

Таблица 2. Параметры Кеминского землетрясения в каталоге GEM(ISC) и CA(KNDC)

GEM	Дата	Время	$\varphi^\circ$	$\lambda^\circ$	Глубина	Mw		
		03.01.1911	23:25:49.71	43,01	78,53	20.0	7,7	
EMSA	Дата	Время	$\varphi^\circ$	$\lambda^\circ$	Глубина	MLH	К	
		03.01.1911	23:25:58	42,90	76,90	25	8,2	17,8

Кеминское землетрясение 1911 г. включено в каталог Сейсмичности Земли Гутенберга и Рихтера [8], с магнитудой 8.4. Позже, некоторые авторы изучали параметры сейсмографов Милна, используемые для измерения амплитуд смещений, и нашли некоторые проблемы в калибровке этой аппаратуры. В частности, Abe and Noguchi [9] заново оценили магнитуды нескольких землетрясений в каталоге «Сейсмичность Земли» с учетом усиления примерно на три порядка больше, чем значение, использованное Гутенбергом и Рихтером (1954), и получили ошибку примерно 0.49 магнитудных единиц. Их определение магнитуды Кеминского землетрясения составило  $M_s=7.8$  [7]. Магнитуда Кеминского землетрясения по расчетам Международного сейсмологического центра (ISC) составляет  $M_w=7.7$ . В 2012 году также проведены работы по оценке локализации и магнитуды, исходя из данных распределения интенсивности методом Bakun и Wentworth [10], используя модель затухания, ранее полученную Бинди и др. [11].

Распределение локализаций первоначальной загрузки (рисунок 8) показывает два основных кластера, согласующихся со среднеквадратичным значением изолиний, показанных на рисунке 8 (слева), которое показывает 2 минимума. Поэтому, распределение значений интенсивности в разных пунктах на поверхности Земли не позволяет определить единое

решения для локализации события. Это является следствием наблюдаемого сложного макросейсмического поля, где интенсивность больше 9 баллов оказалась «разбросанной» на расстоянии примерно 150 км с тремя пространственно хорошо разделенными кластерами высокой интенсивности (рисунок 7). Принимая во внимание решение, соответствующее абсолютному минимуму, центр интенсивности (красный квадрат) сдвинут примерно на 54 км на восток от расположения эпицентра (черный крест) (рисунок 8). Решение, найденное в этом исследовании для локализации хорошо согласуется с решением Arrowsmith и др. [6], который обнаружил, что большая часть сейсмической энергии высвободилась в самых восточных под-разломах (т.е. части Аксу и Чон-Аксу). Это наблюдение подтверждает, что центр интенсивности, в целом, более представительен по моменту центроида, нежели по эпицентральному расположению [12]. Западный кластер расположен вокруг самой западной части чу-кеминского разлома, где произошел разрыв во время землетрясения 1911 г. (например, часть разлома Жыл-Арык). Магнитуды интенсивности в соответствии с центроидом момента этого наиболее западного кластера (желтый квадрат) (рисунок 8, справа) немного больше, чем магнитуды в центре интенсивности (например,  $M_{LN}=7.9$ ).

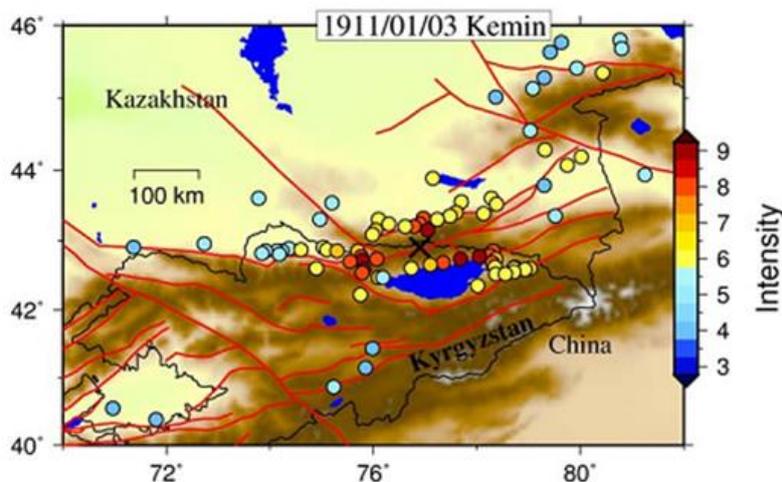
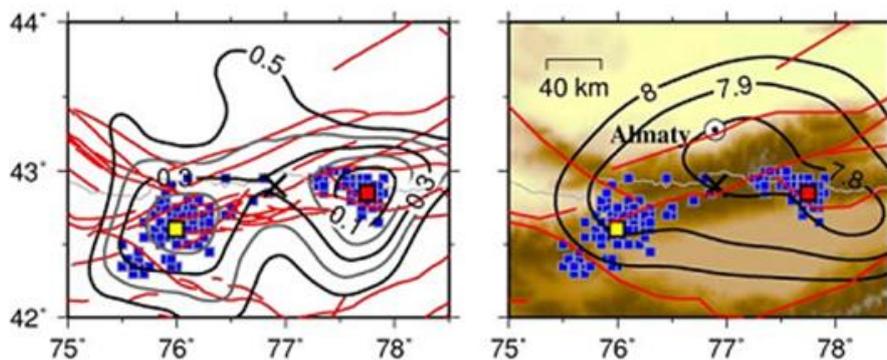


Рисунок 7. Карта распределения значений интенсивности и расположение эпицентра Кеминского землетрясения (черный крест), красными линиями выделены основные разломы [7]



Показано расположение центров интенсивности (красные и желтые квадратики) для двух кластеров первоначальной загрузки решений. Линиями показаны среднеквадратичные значения отклонений интенсивности (слева) и магнитуды  $M_{ln}$  (справа), эпицентр землетрясения (черный крест)

Рисунок 8. Карта результатов оценки положения центра интенсивности и магнитуды по данным распределения интенсивности [7]

Суммируя собранные новые данные об очаге Кеминского землетрясения и принимая в расчет имеющиеся архивные макросейсмические данные, можно сделать выводы:

– магнитуда Кеминского землетрясения в советских каталогах, скорее всего, является завышенной. Это следует из переопределения магнитуды по инструментальным записям с учетом исправления аппаратных характеристик, приведших к ошибочным завышенным результатам. Значения магнитуды 7,7–7,8 согласуются с новыми определениями сейсмического момента, сделанными по результатам изучения сдвига горных масс при этом землетрясении. Эти значения согласуются также с расчетами исходя из распределения интенсивности по новым моделям затухания.

– координаты эпицентра по разным источникам сильно разнятся. Видно, что разрыв был сложным, состоял из разных по кинематическим характеристикам субразрывов. Выделяются несколько кластеров, ответственных за распределение максимальной интенсивности сотрясений. В любом случае для

столь сильных событий недостаточно одной точки для описания сложного протяженного очага.

#### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Впервые за многие годы вновь собраны и обобщены результаты исследований, касающиеся процессов в очаге Кеминского землетрясения и его параметров.

2. Установлено, что магнитуда землетрясения в советских и ряде мировых каталогов была завышена. По новым данным она не превышает 8.

3. Подвергнуто сомнению положение единого эпицентра Кеминского землетрясения. Показано, что его очаг был сложным, состоял из нескольких под-очагов. Начало излучения, вероятнее всего, находится в восточной части разлома, общая длина которого достигает почти 200 км. В западной части разлома в месте его окончания в 1938 г. произошло сильнейшее Кеминско-Чуйское землетрясение.

4. При прогнозе воздействий на ответственные объекты в районе г. Алматы в качестве исходных данных следует учитывать новые данные о Кеминском землетрясении.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Богданович, К.И. Землетрясение 22 декабря 1910г.(4 января 1911г.) в северных цепях Тянь-Шаня между Верным и Иссык-Кулем / К.И. Богданович / С-Петербург. Известие Геологического Комитета, 1911.
2. Зенков, А.П. Сейсмические требования, которым должны удовлетворять постройки, сооружения в местностях, подверженных землетрясениям / А.П. Зенков // Смерчинская Областная Ведомость, 1911. – №52,54.
3. Новый каталог сильных землетрясений на территориях СССР с древнейших времен до 1975 г. / – М.: Наука 1977.
4. Нурмагамбетов, А. Сейсмическая история города Алматы / А. Нурмагамбетов // Алматы: LEM 1999.
5. Landslides and surface breaks of the 1911 Ms 8.2 Kemin earthquake / Delvaux [at al] / Kyrgyzstan, Russian Geology and Geophysics, 2001. – №42. – P. 1167–1177.
6. Surface rupture of the 1911 Kebin (Chon-Kemin) earthquake, Northern Tien Shan, Kyrgyzstan, Eos Trans / I.R.Arrowsmith [at al]. AGU, 86(52), Fall Meet. Suppl., Abstract T51F-05. 2005.
7. Location and magnitudes of earthquakes in Central Asia from seismic intensity data: application to earthquakes occurred before 1964. D. Bindi [at al].
8. Gutenberg, B. Seismicity of the Earth and Associated Phenomena, 2nd Edn / Richter, C.F. – Princeton University Press, Princeton, 1954. – N J – 310p.
9. Abe, K. Determination of magnitude for large shallow earthquakes 1898-1917/ Noguchi, S. Phys. Earth Planet. Inter., 1983.– №32. – P. 45–59.
10. Bakun, W. H. and Estimating earthquake location and magnitude from seismic intensity data / C. M. Wentworth. Bull. Seism. Soc. Am., 1997. – №87. – P.1502–1521.

11. Location and magnitudes of earthquakes in Central Asia from seismic intensity data: model calibration and validation / D. Bindi [et al]. *Geophysical Journal International*, 2013. doi: 10.1093/gji/ggs039.
12. Bakun, W. H. Seismicity of California's north coast / W. H. Bakun, *Bull. Seism. Soc. Am.*, 2000. – № 90 – P. 797–812.
13. Шебалин, Н.В. Сильные землетрясения / Н.В. Шебалин // М: Издательство академии горных наук, 1997.

### **КЕМИН АПАТЫНА 100 ЖЫЛ: ОШАҒЫ ТУРАЛЫ ЖАҢА ДЕРЕКТЕРІ**

**Мукамбаев А.С., Михайлова Н.Н.**

*Геофизикалық зерттеулер институты РМК, Курчатов, Қазақстан*

1911 жылғы Кемин апатты жерсілкінудің ошағы параметрлеріне қатысты жаңа деректері жиналып қорытылған, соның ішінде жаңалары. Қазақстан жерсілкінулері каталогтарында осы оқиғаның магнитудасы арттырылып жазылғаны анықталған. Глобал және аймақтық каталогтарда эпиорталығы орналасуында айырмашылықтары айқындалған. Осы жерсілкінуді зерделеу нәтижелерін сейсмикалық аудандау және маңызды объектілерге сейсмикалық әсерлерін болжамдау жұмыстарында есепке алу тиіс.

### **100 YEARS AFTER KEMIN CATASTROPHE: NEW DATA ABOUT FOCUS**

**A.S. Mukambayev, N.N. Mikhailova**

*RSE Institute of Geophysical Researches CAE RK, Kurchatov, Kazakhstan*

New data related to focal parameters of catastrophic Kemin earthquake of 1911 were collected and generalized. The magnitude exceedance of the event was revealed in Kazakhstan earthquake catalogues. Discrepancies in Kemin earthquake epicenter location between global and regional catalogues were found. New data should be considered in works on seismic zoning and prediction of seismic impact on critical facilities.