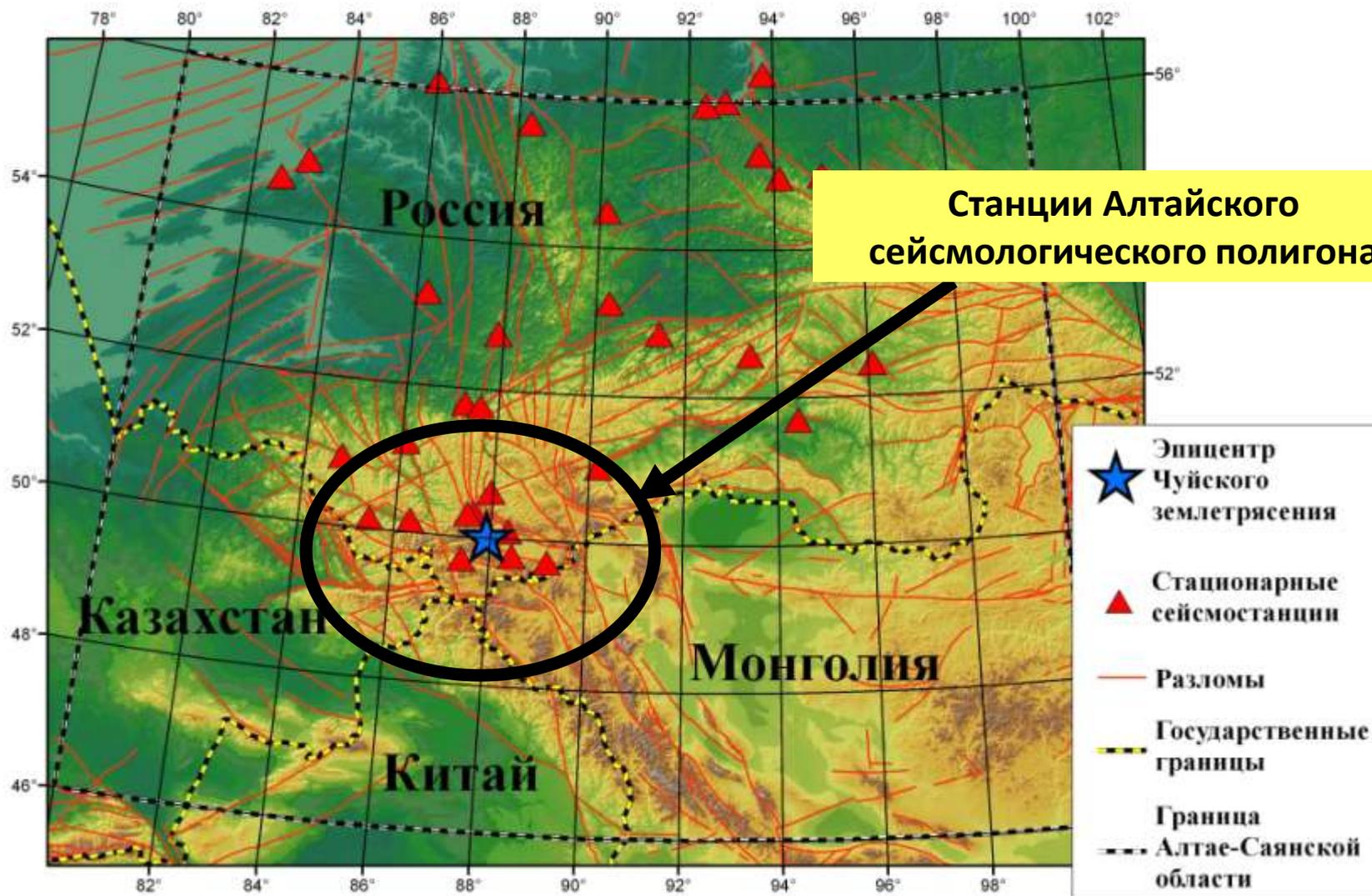


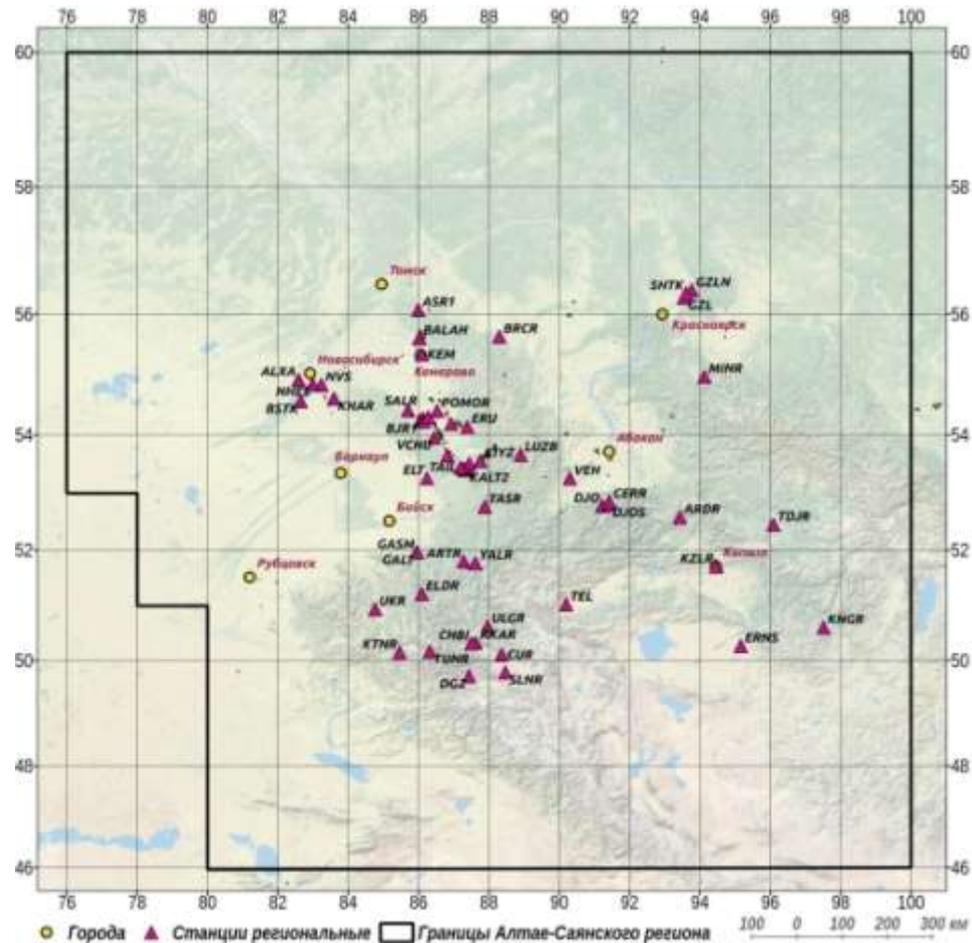
Эволюция сейсмичности Горного Алтая после Чуйского землетрясения 2003года

Еманов А.Ф., Еманов А.А., Фатеев А.В.

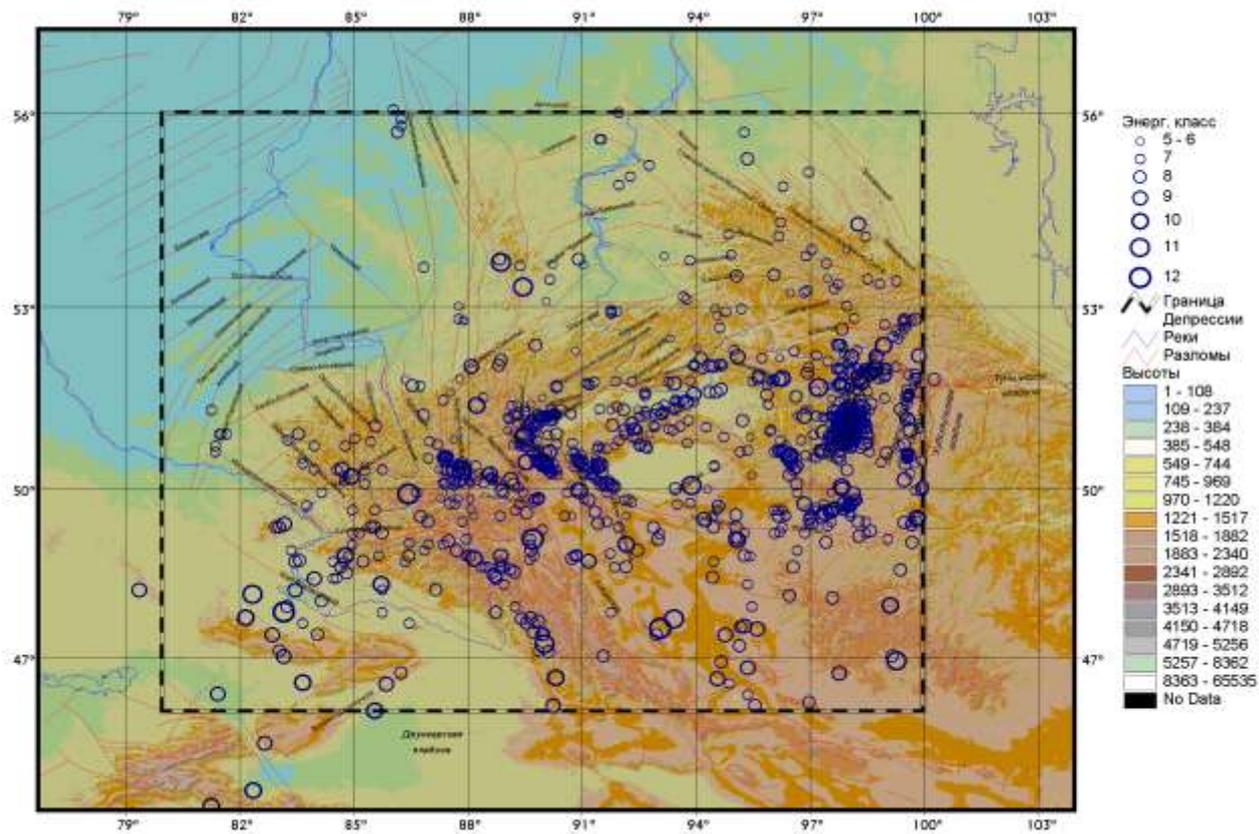
Чуйское землетрясение и сеть стационарных сейсмостанций Алтае-Саянского филиала Геофизической Службы СО РАН



Сеть сейсмологических станций Алтае-Саянской горной области в 2018 году (57 станций)



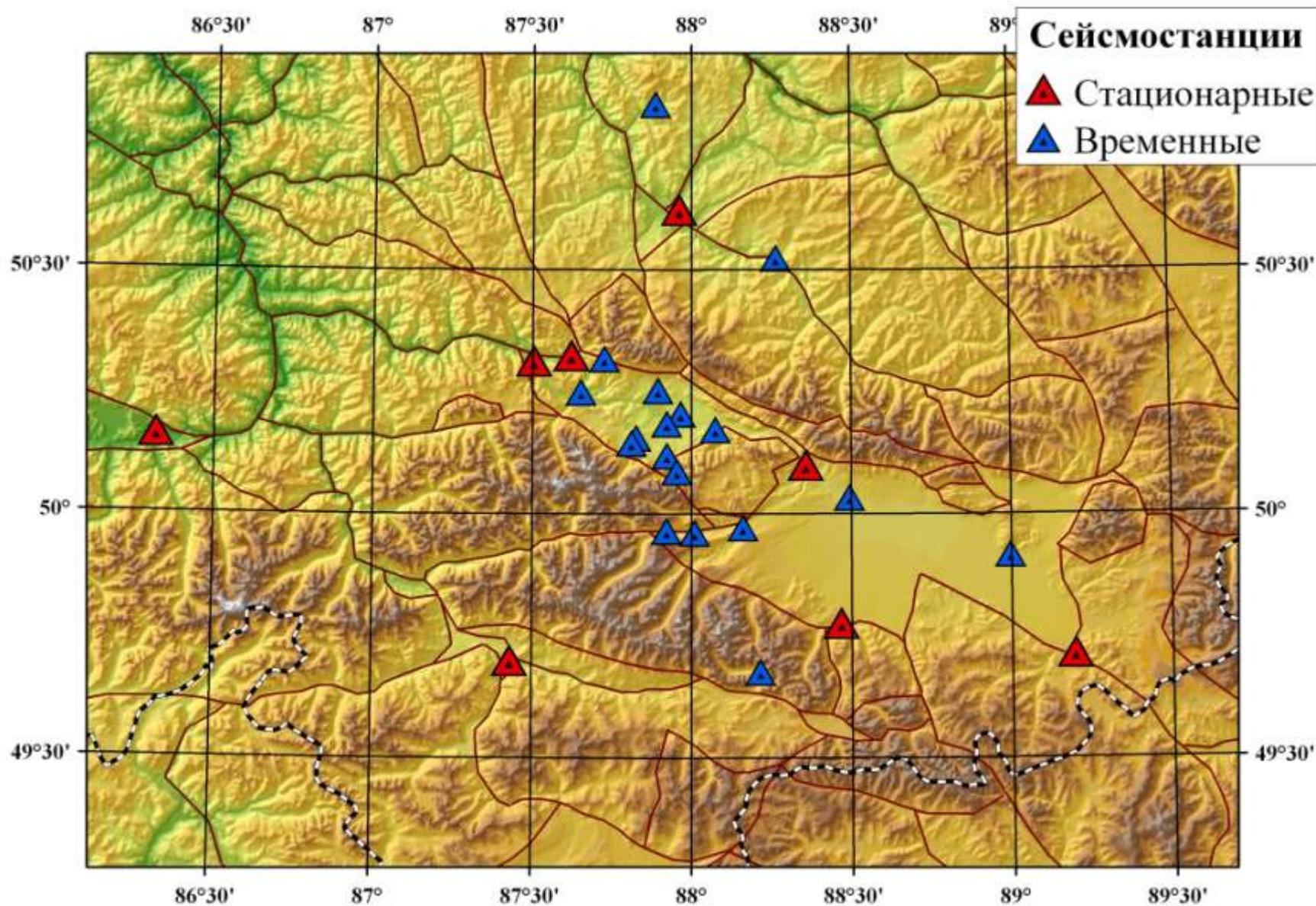
Карта эпицентров землетрясений Алтае-Саянской области за 1997год.



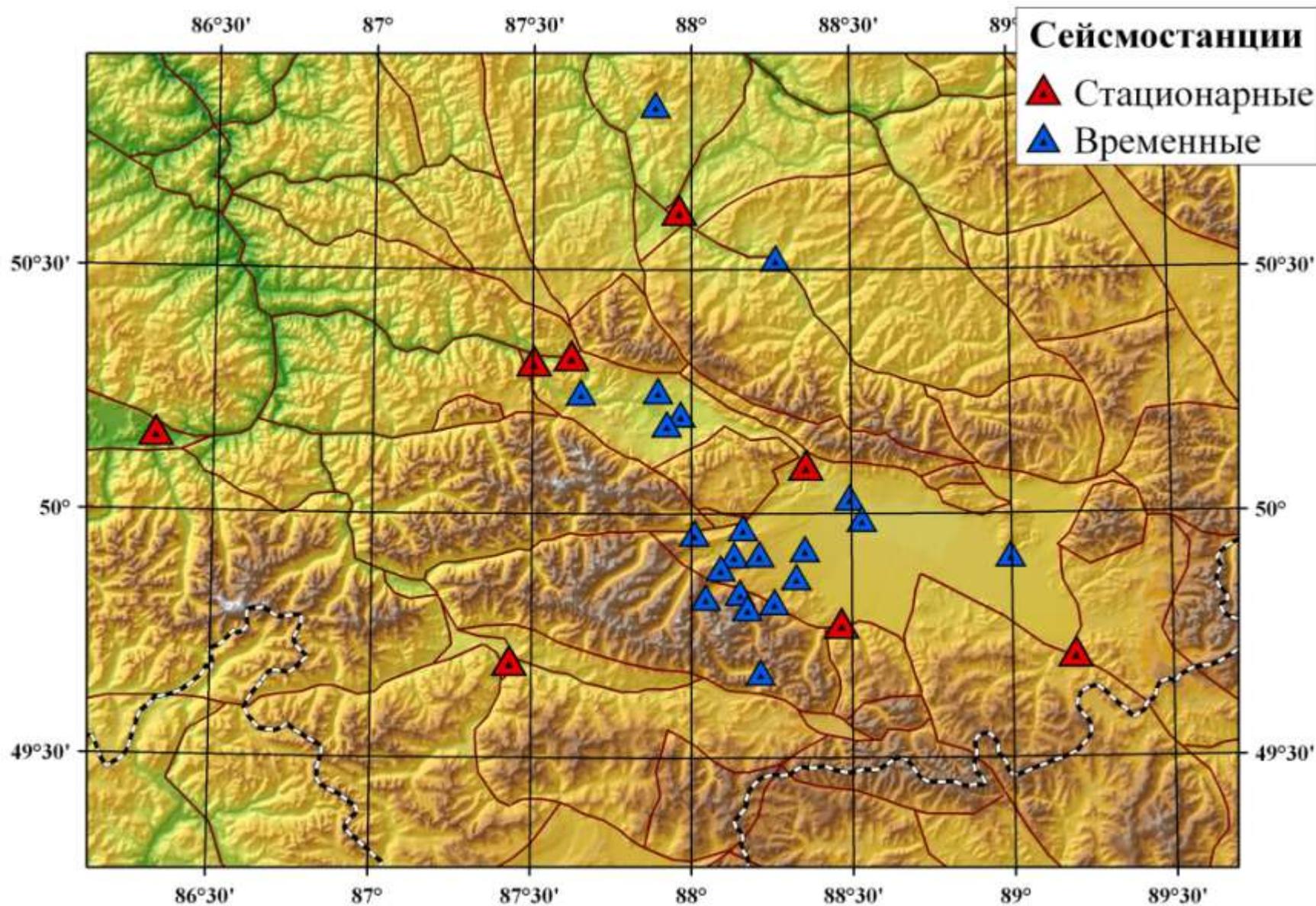
Особенности сейсмического режима

- В сейсмическом режиме Алтае-Саянской горной области следует выделять фоновую сейсмичность и сейсмические активизации
- Фоновая сейсмичность, хаотичная на первый взгляд, с течением времени упорядочивается в соответствии с блочной структурой Алтае-Саянского региона концентрируясь преимущественно в горном обрамлении впадин. Наблюдается стабильность во времени в организации фоновой сейсмичности, а также иерархия тектонических процессов по скорости проявления в сейсмичности.
- Крупнейшие землетрясения Алтае-Саянской области формируют индивидуальный сейсмический процесс, характер которого зависит в большей степени от структурных условий возникновения землетрясений, чем от энергии главного толчка

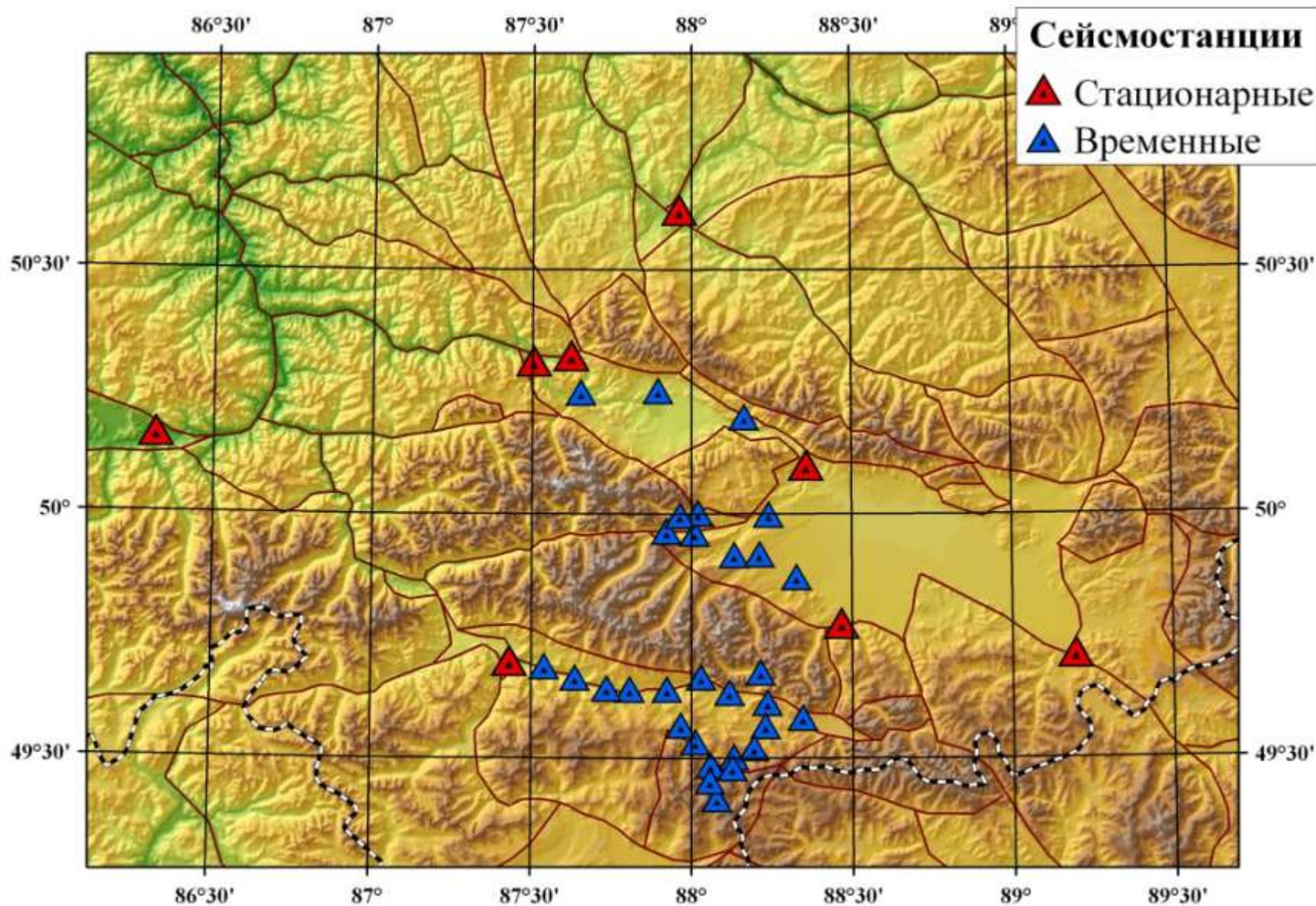
Сеть временных станций в зоне Чуйского землетрясения летом 2004 г. (03.07.04 – 19.07.04)



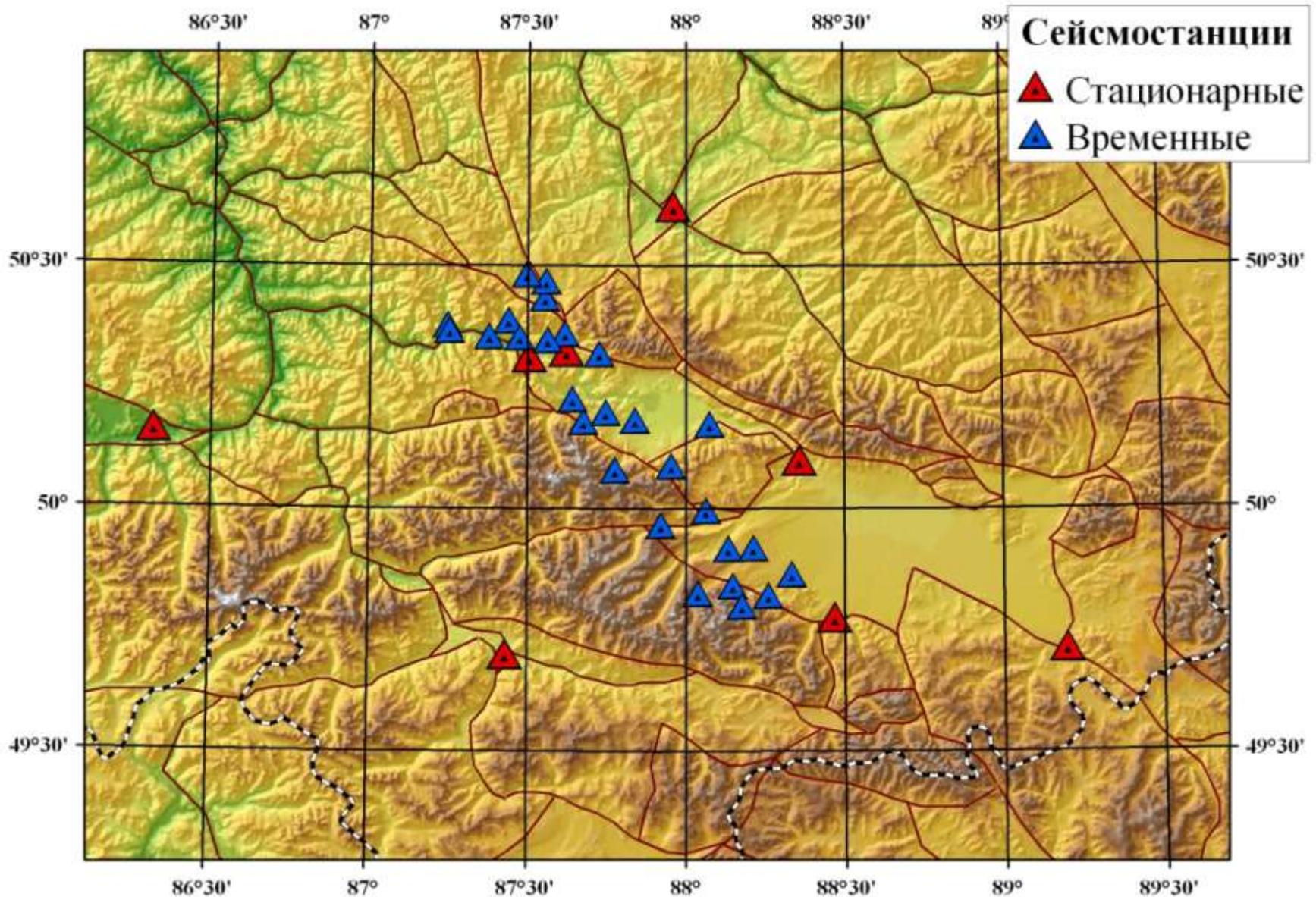
Сеть временных станций в зоне Чуйского землетрясения осенью 2004 г. (19.10.04 – 10.11.04)



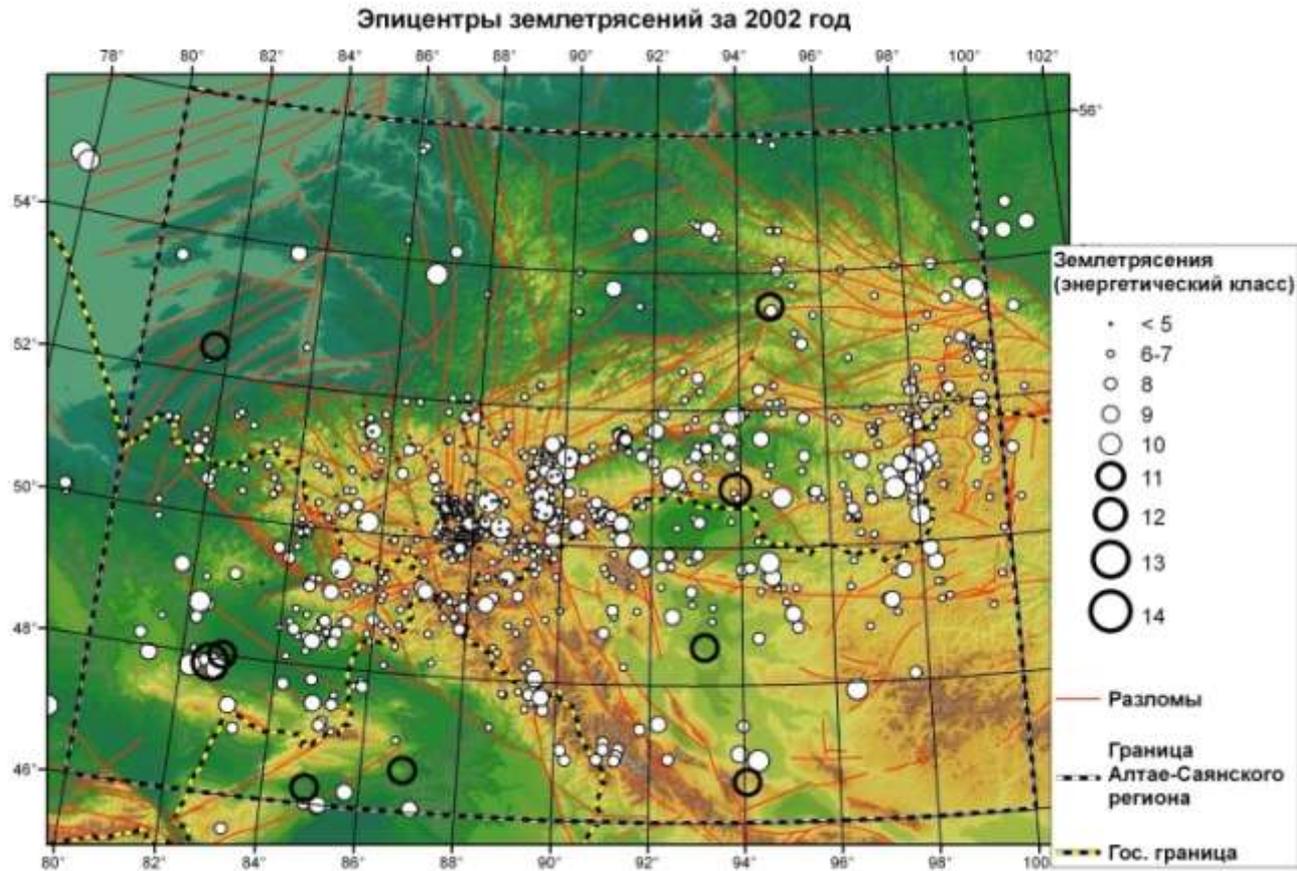
Сеть временных станций в зоне Чуйского землетрясения в 2007 г. (08.05.07 – 12.06.07)



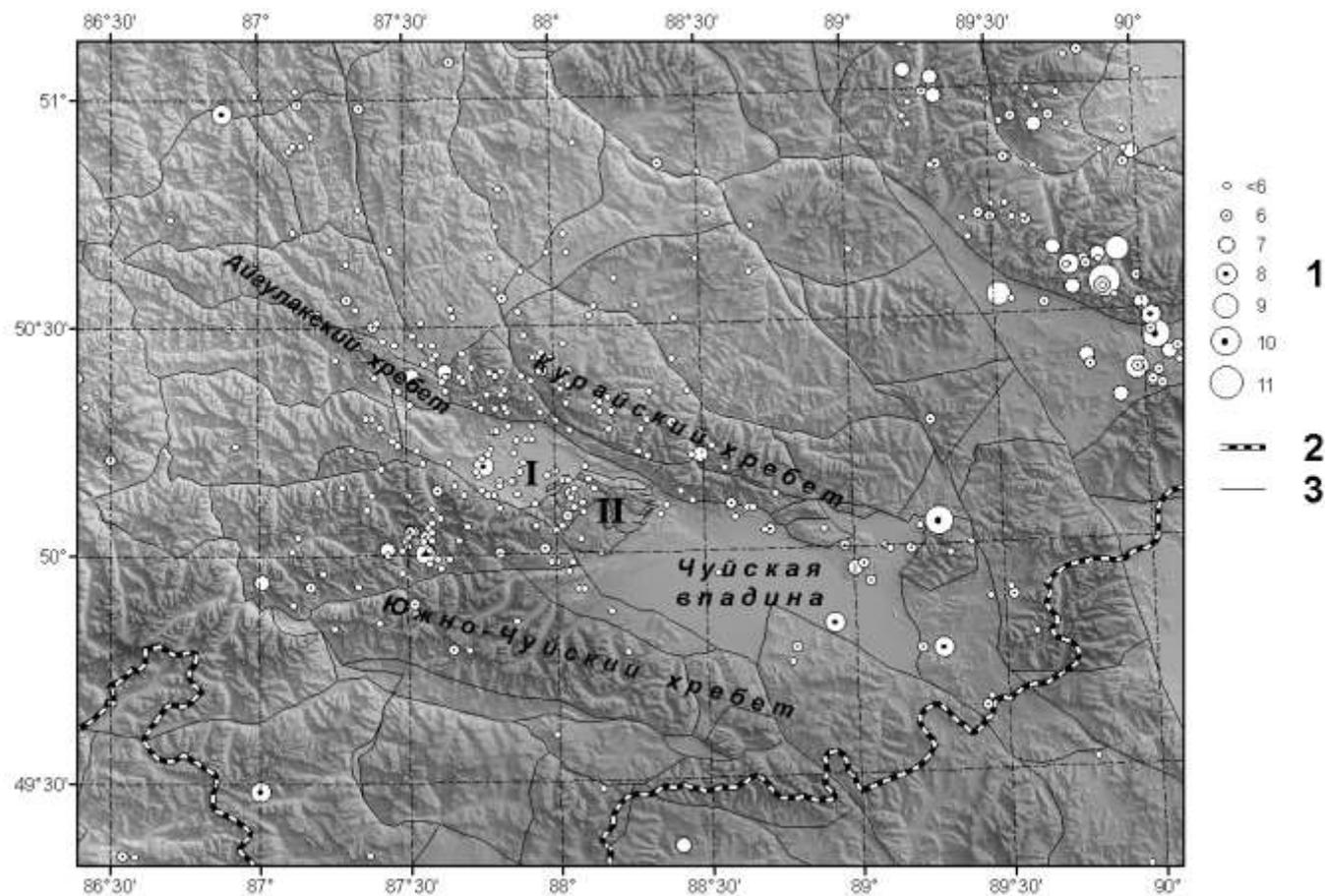
Сеть временных станций в зоне Чуйского землетрясения в 2009 г. (28.05 – 02.09), 25 станций



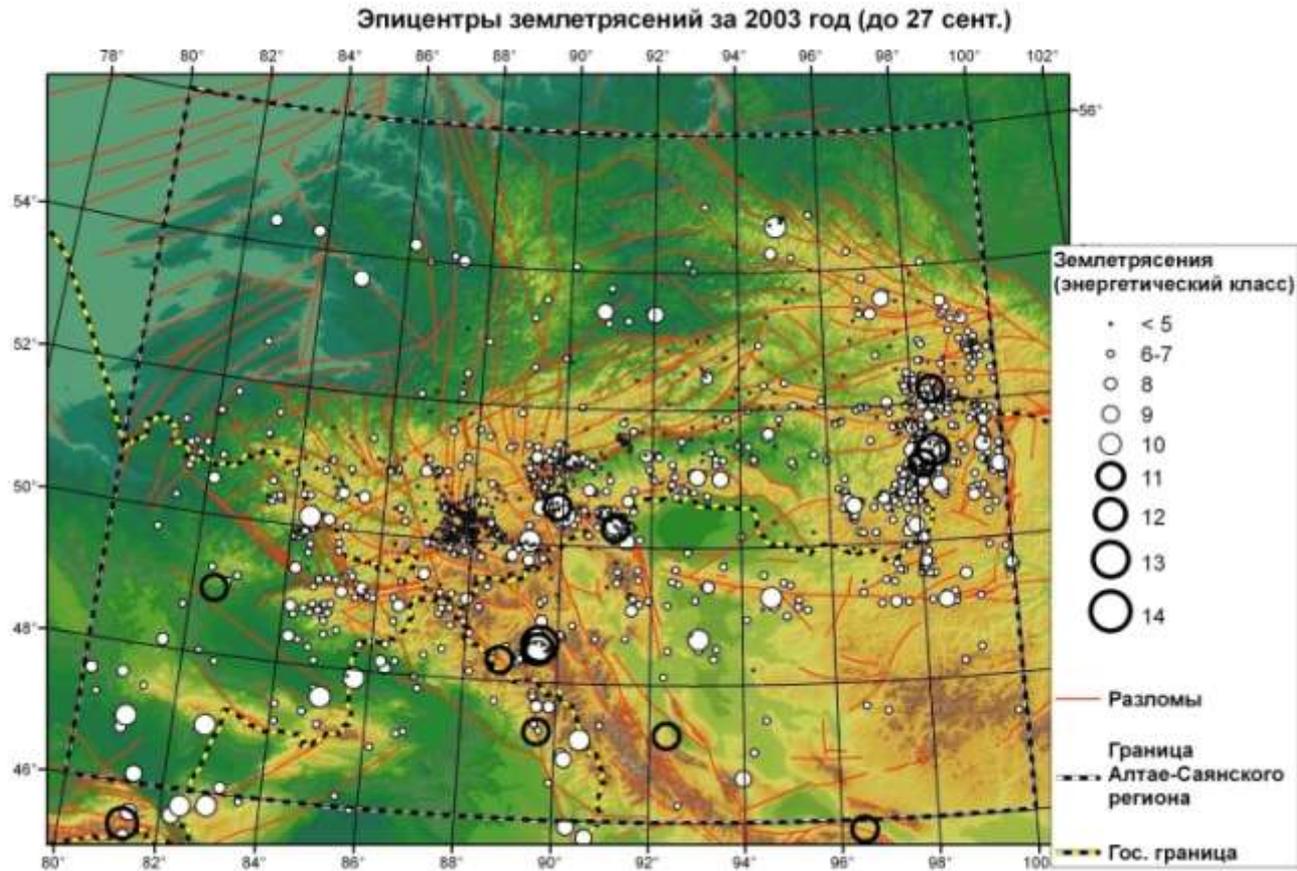
Карта эпицентров землетрясений Алтае-Саянской области за 2002 г.



Карта эпицентров землетрясений Чуйско- Курайской зоны 2003 год до Чуйского землетрясения (наблюдения временной сети летом)



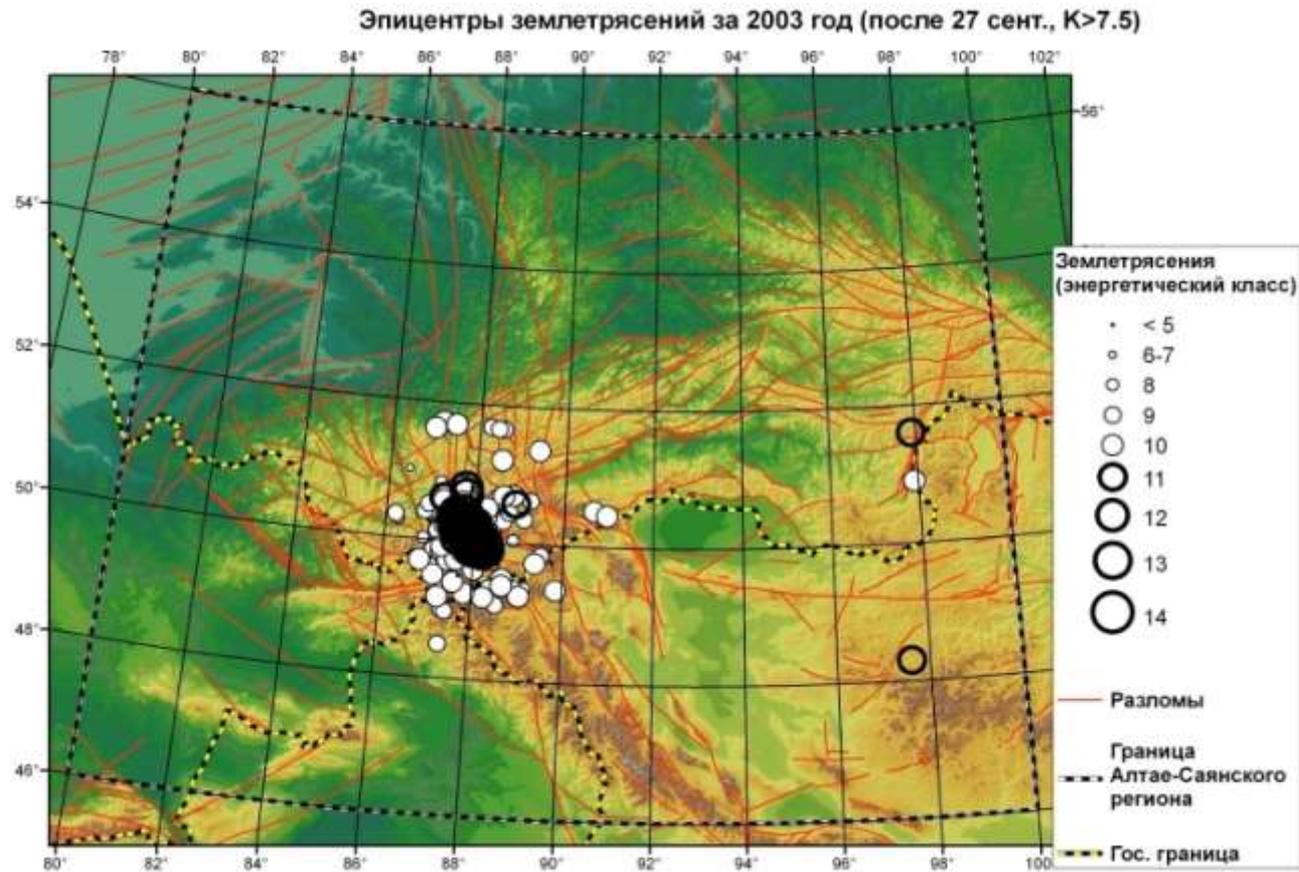
Карта эпицентров землетрясений Алтае-Саянской области 2003 г до 27 сентября.



Особенности сейсмического режима Чуйско- курайской зоны перед землетрясением

- В 2002 году наблюдалась слабая активизация окружности ста километрового радиуса
- В 2003 году до землетрясения наблюдается затишье в Чуйско-Курайской зоне.
- На фоне затишья микроземлетрясения обозначают будущую область распространения афтершоков

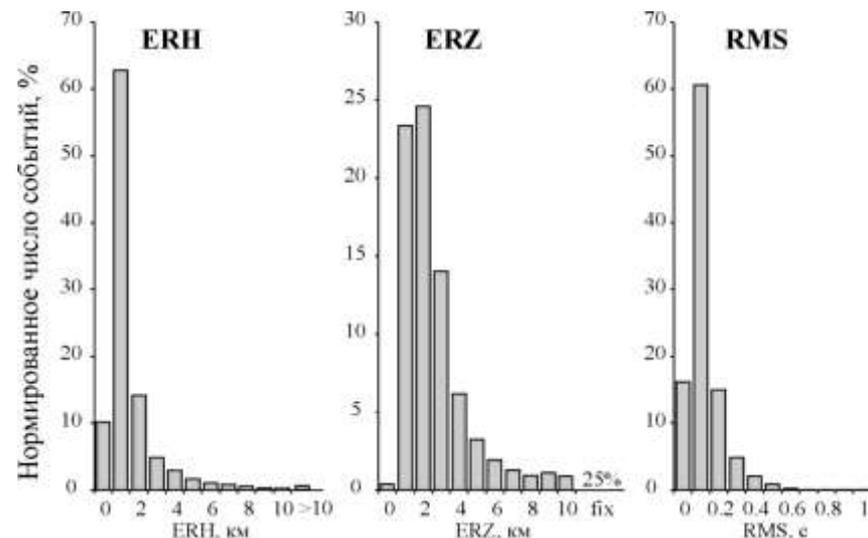
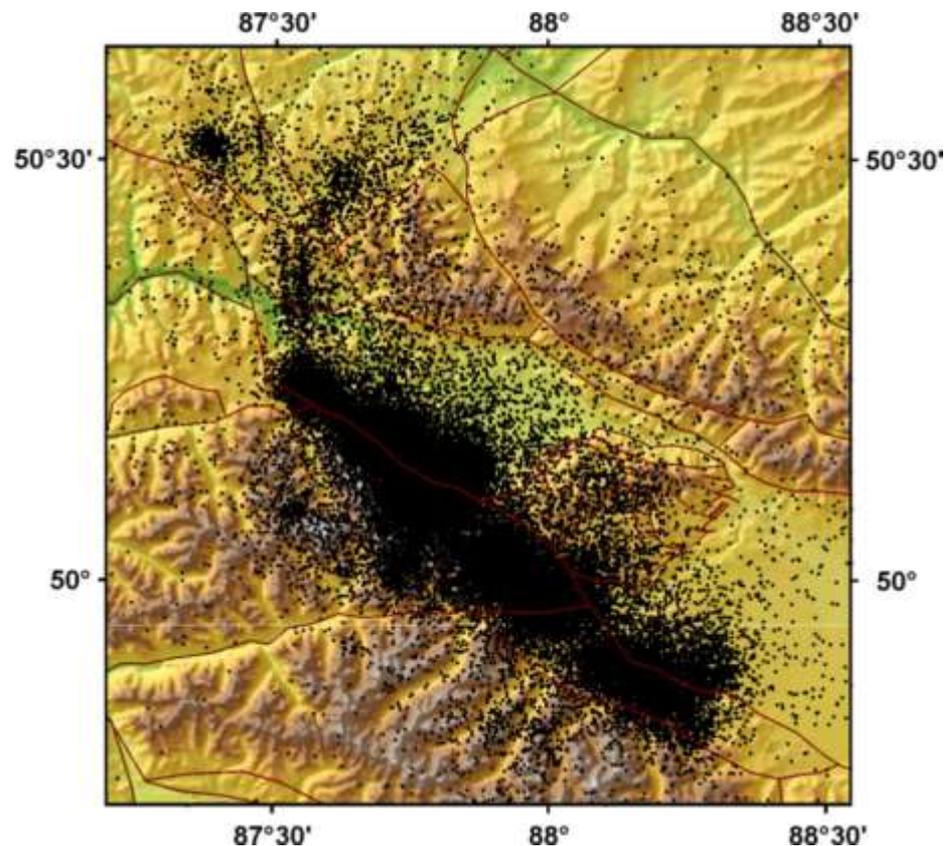
Карта эпицентров землетрясений в 2003 году после Чуйского землетрясения



Каталог землетрясений

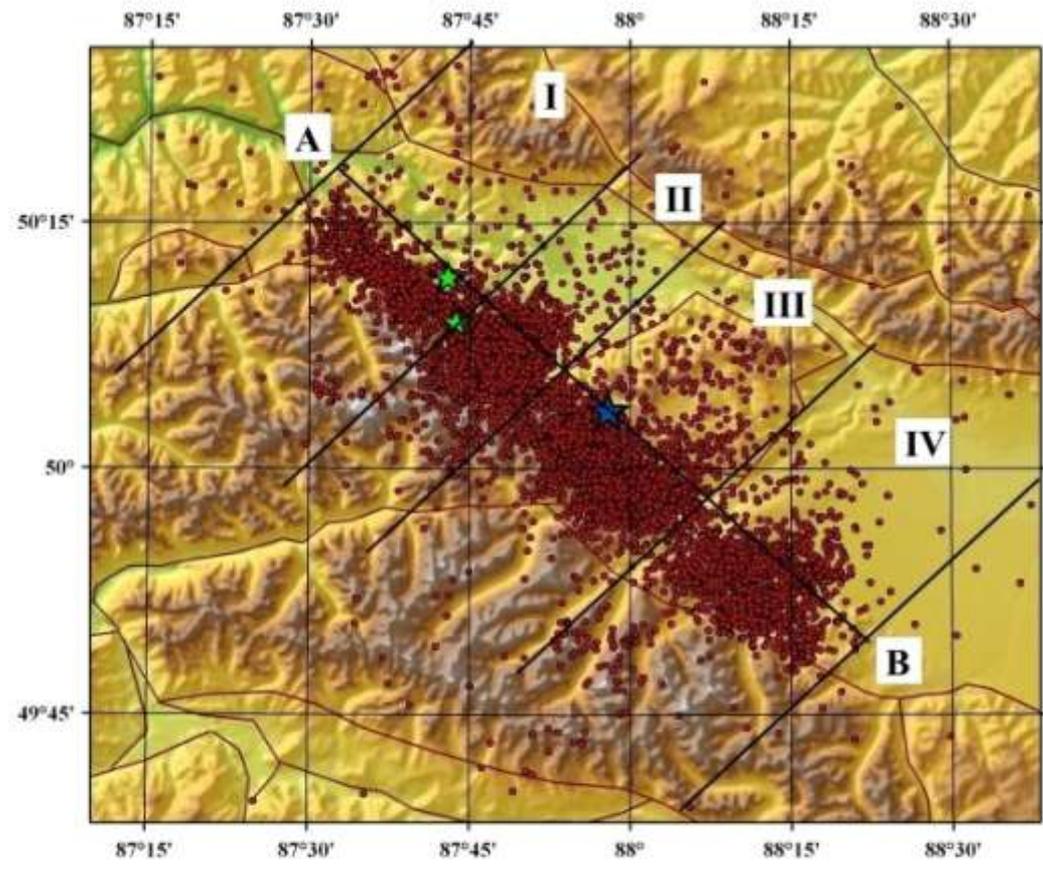
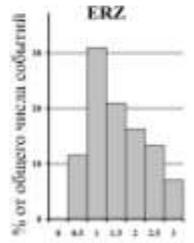
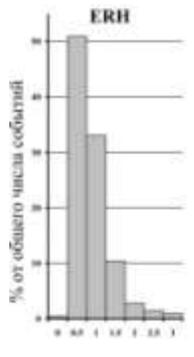
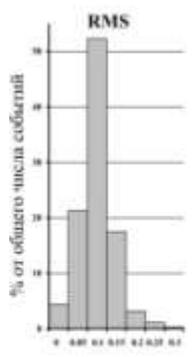
Сведения о 48338 событиях (время в очаге, положение гипоцентра, энергетический класс), произошедших в период 27 сентября 2003 г. до конца 2012 г., систематизированы в сводный каталог землетрясений Чуйско-Курайской зоны, который включает в себя:

1. все землетрясения с $M_s \geq 2$ ($K \geq 7.6$) за период 27 сентября 2003 г. – 31 декабря 2012 г.;
2. данные полной обработки событий 27 сентября – 13 октября 2003 г., представительных начиная с $K = 6$;
3. землетрясения, зарегистрированных во время эпицентральных наблюдений в 2003-2009 гг., представительных начиная с $K = 2 - 4$ для разных периодов регистрации.

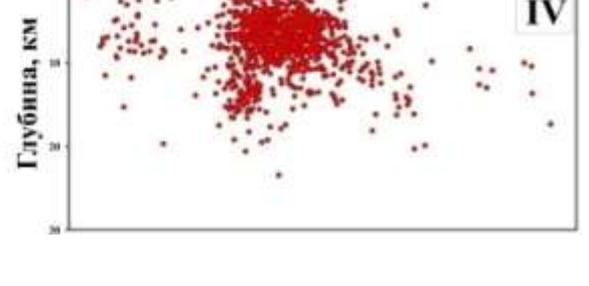
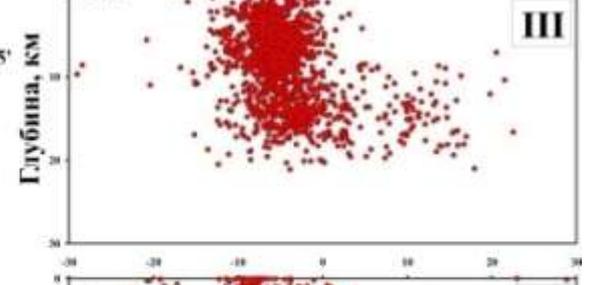
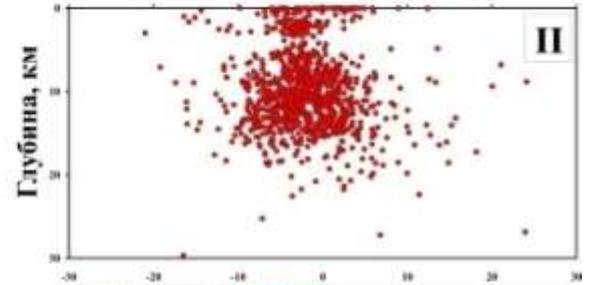
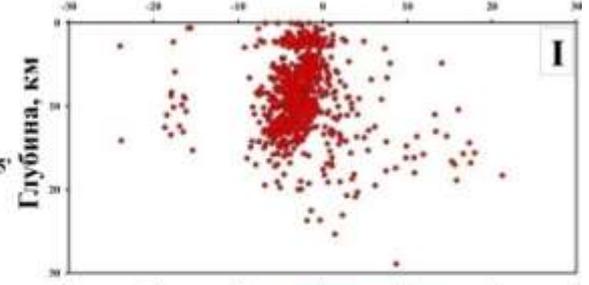


Распределение афтершоков по глубине

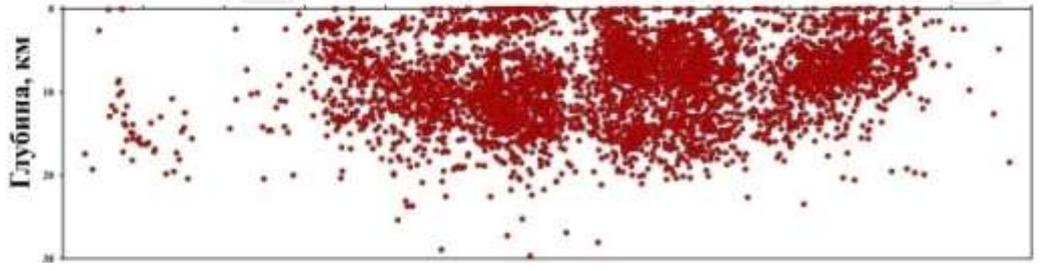
Эпицентры афтершоков рассчитаны HYPOINVERSE2000 (2003-2007)



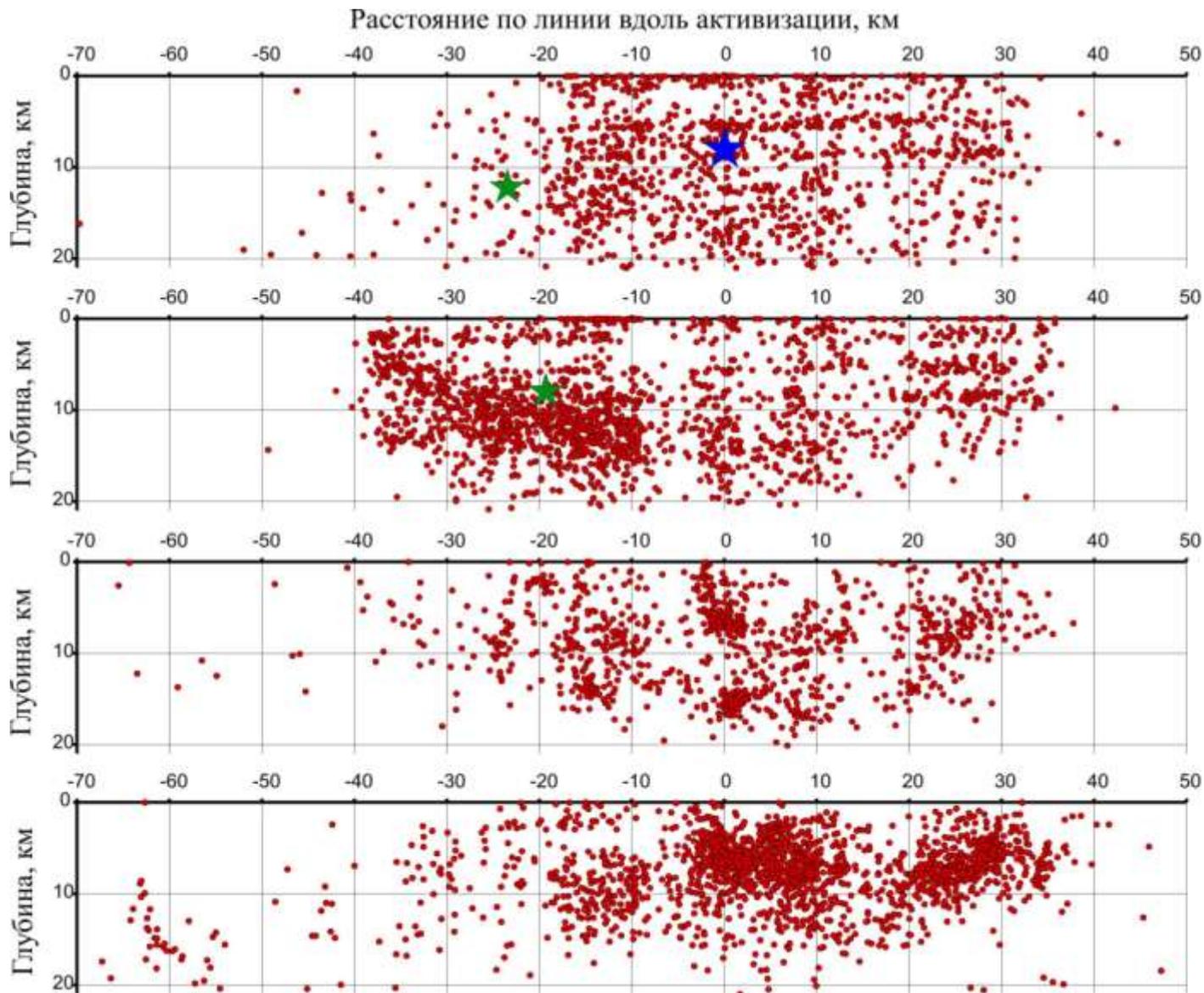
Расстояние по линии поперек активизации



Расстояние по линии вдоль активизации



Распределение афтершоков по глубине



События
27 сент. - 30 сент.
2003 г.

События
01 окт. - 31 дек.
2003 г.

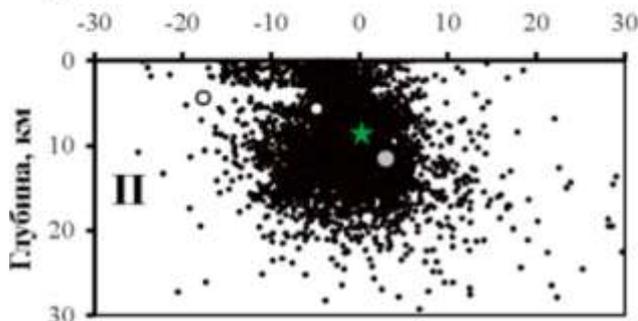
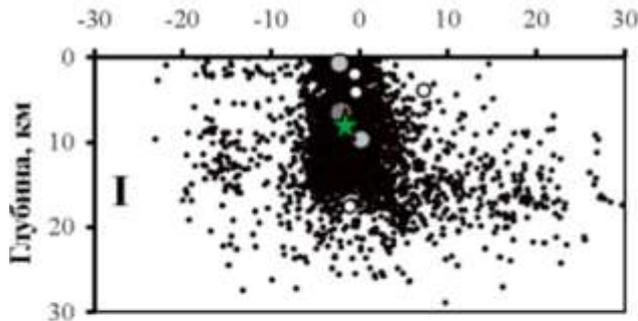
События
19 мая - 05 июня
2006 г.

События
08 мая - 12 июня
2007 г.

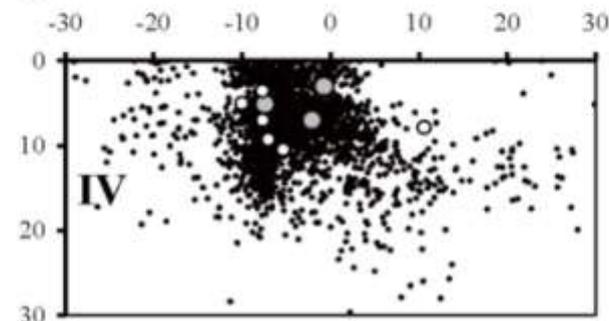
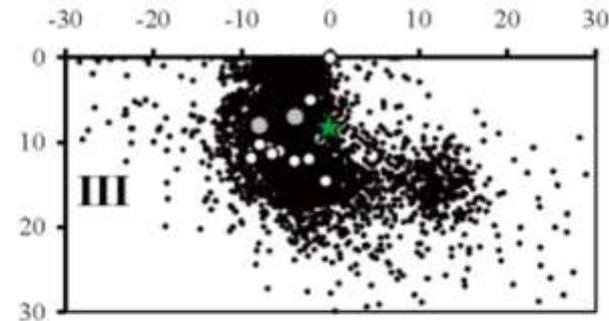
★ - Эпицентр главного толчка

★ - Эпицентры крупнейших афтершоков

Расстояние по линии поперек активизации, км



Расстояние по линии поперек активизации, км

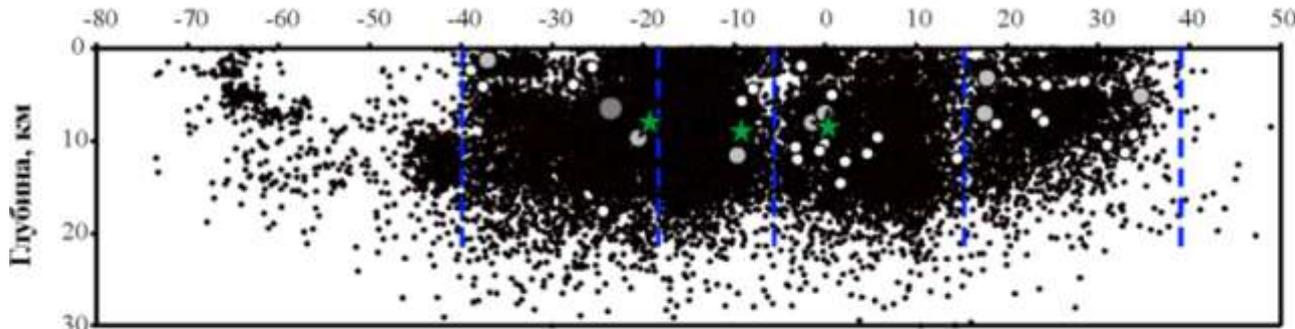


Гипоцентры землетрясения (К):

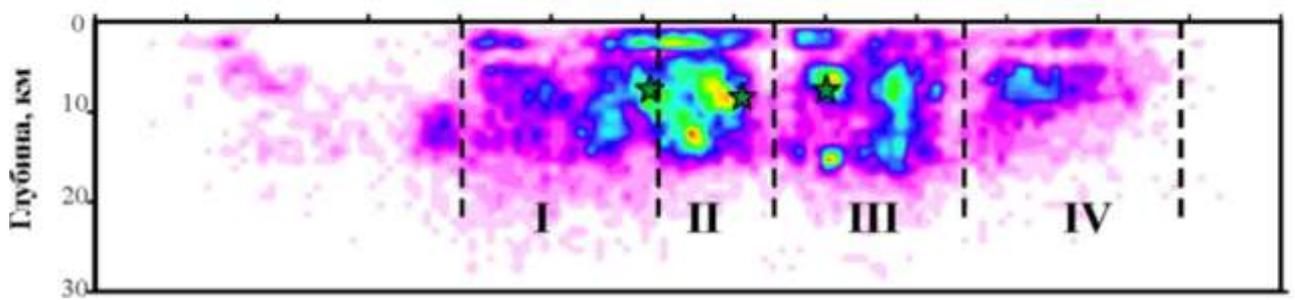
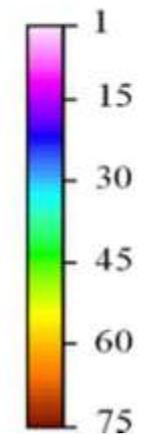
- ★ 16-17
- 14
- 13
- 12
- <12

Распределение гипоцентров афтершоков с ERH, ERZ ≤ 2 км и RMS ≤ 0.3 за период 2003-2009 гг. с глубиной

Расстояние по линии вдоль активизации, км



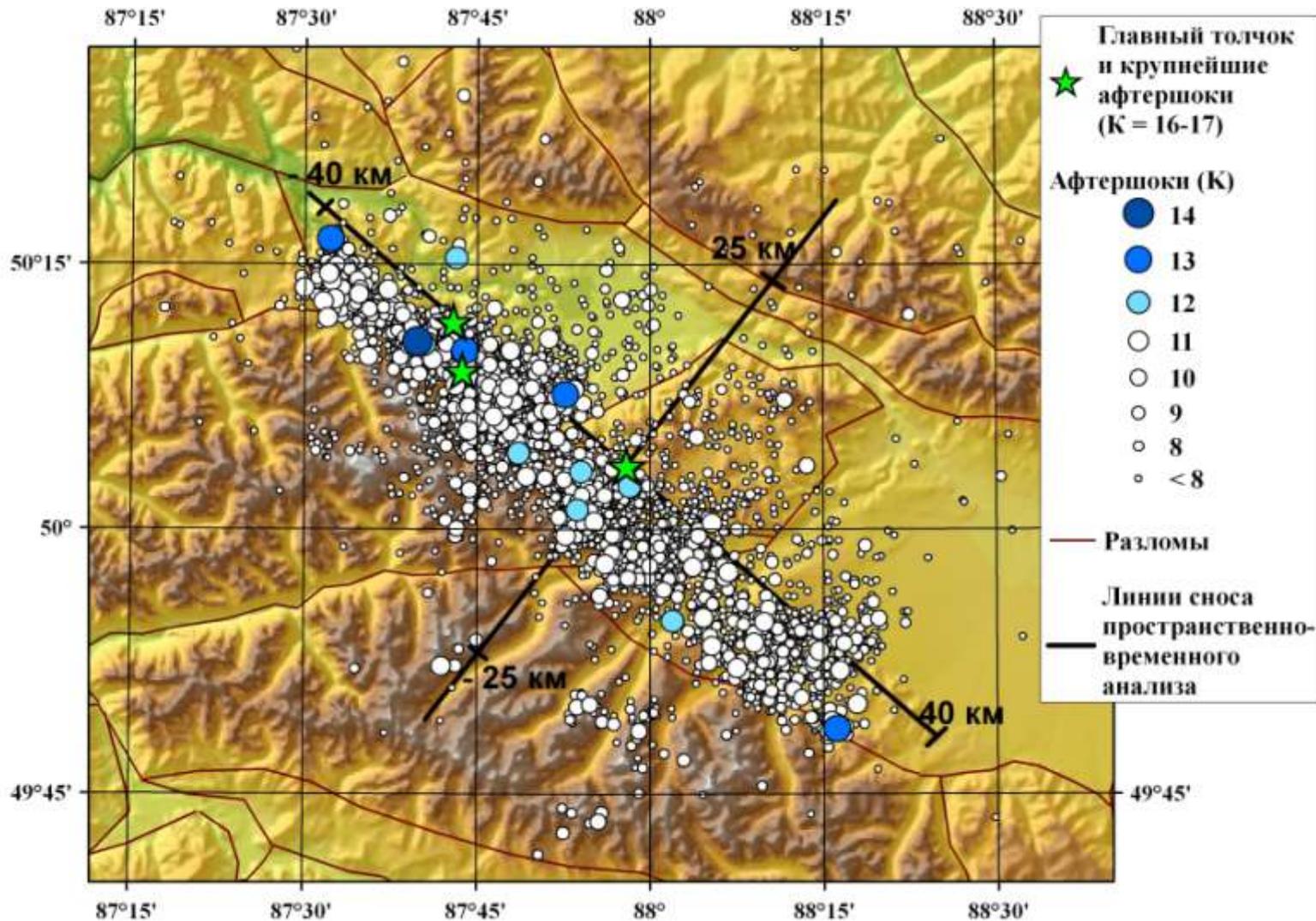
Число землетрясений:



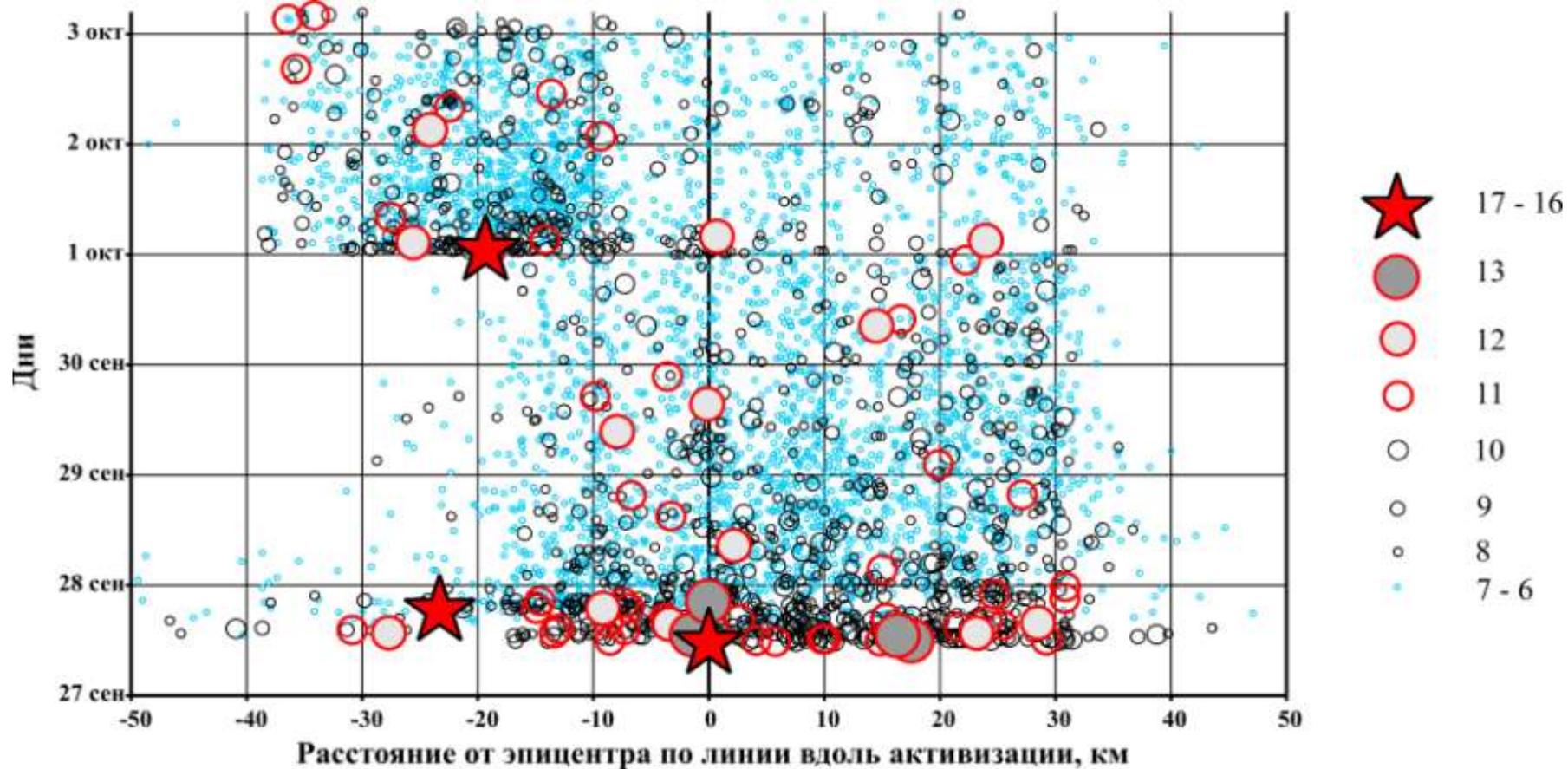
Эпицентры афтершоков Чуйского землетрясения ($K \geq 8$)

за период 27/09/2003 11:33 – 04/10/2003 23:59 GMT.

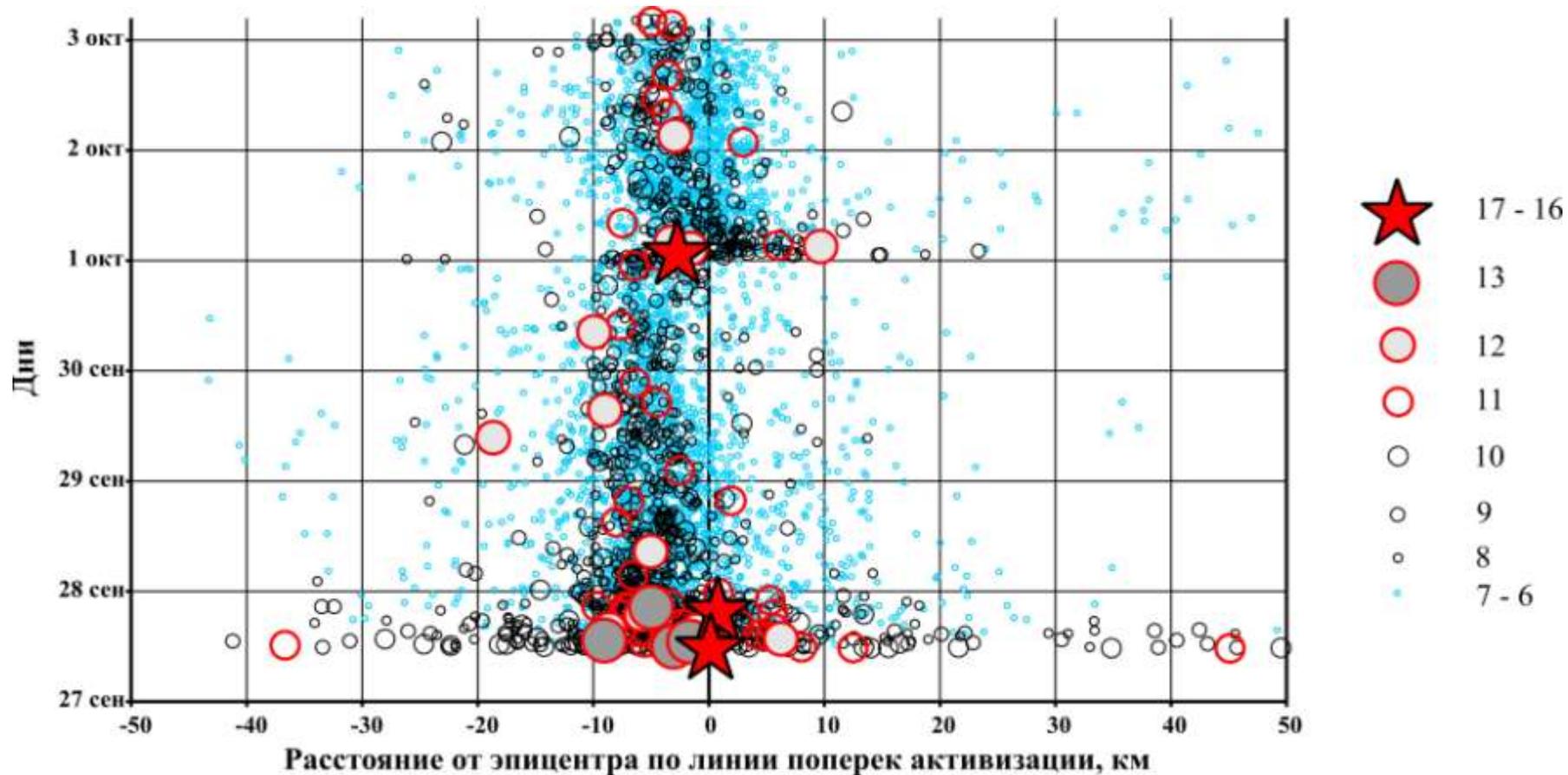
Область и линии сноса пространственно-временного анализа



Пространственно-временное распределение афтершоков ($K \geq 6$) по линии вдоль активизации за период 27/09/2003 – 03/10/2003



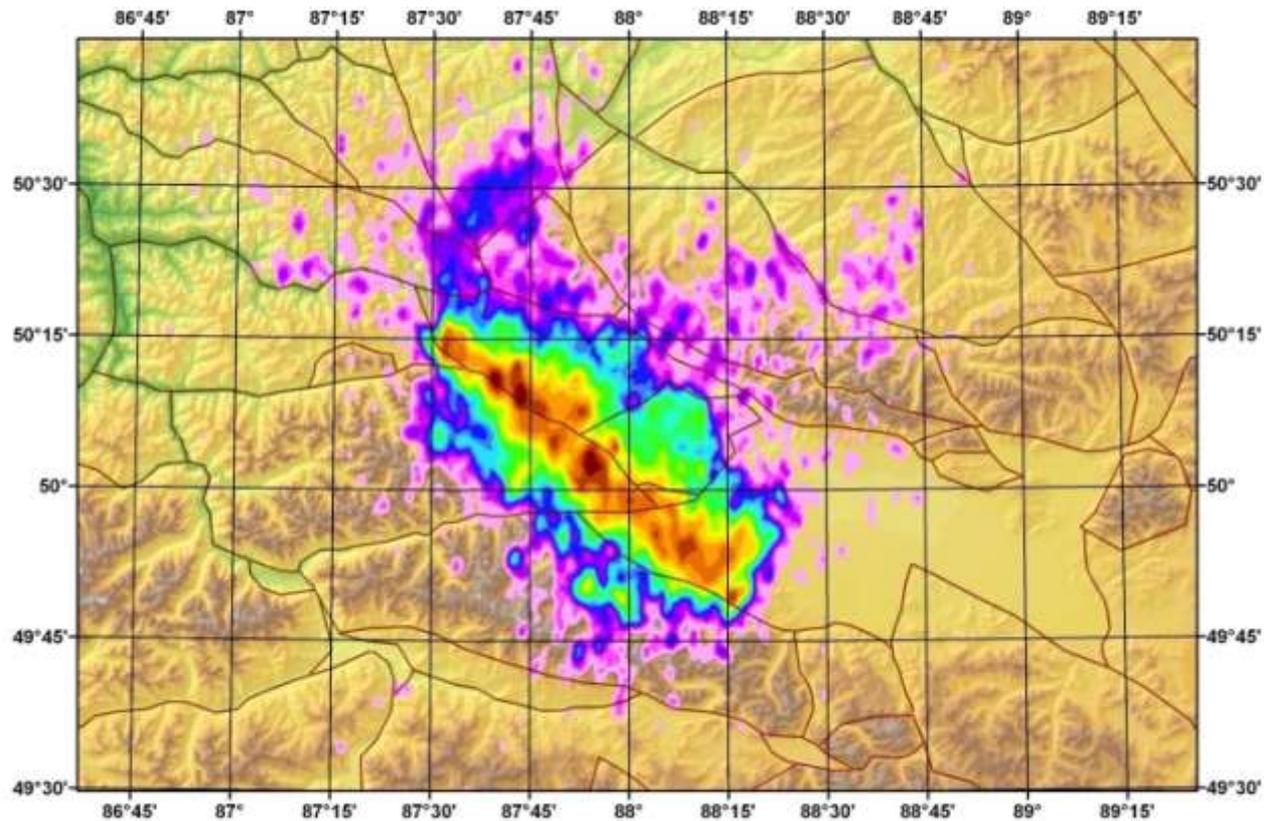
Пространственно-временное распределение афтершоков ($K \geq 6$) по линии поперек активизации за период 27/09/2003 – 03/10/2003



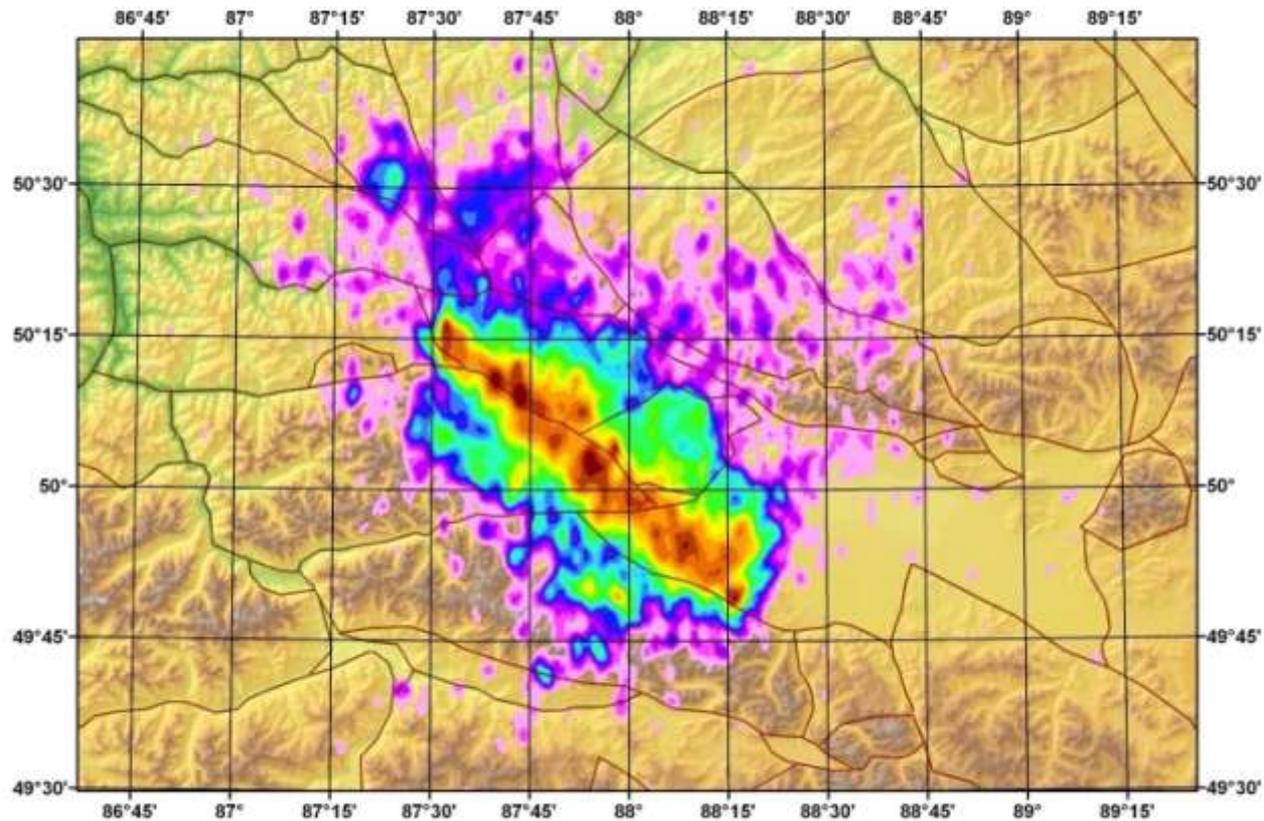
Пространственно-временные особенности развития афтершокового процесса в первые дни

- Развитие афтершокового процесса идёт в соответствии с поэлементной структурой, увязанной с блоковым строением эпицентральной области. Элементы соответствуют: один - блоку Чуйской впадины; один – Чаган-Узунскому блоку; два – Курайской впадины.
- В первые дни развития афтершокового процесса наблюдается формирования основных этапов развития, сформировавшихся при определяющем влиянии крупнейших афтершоков.
- Установлен факт кратковременной задержки в пространственном развитии области афтершоков (несколько дней).
- Обнаружена точка бифуркации в дальнейшем пространственном развитии дислокации.

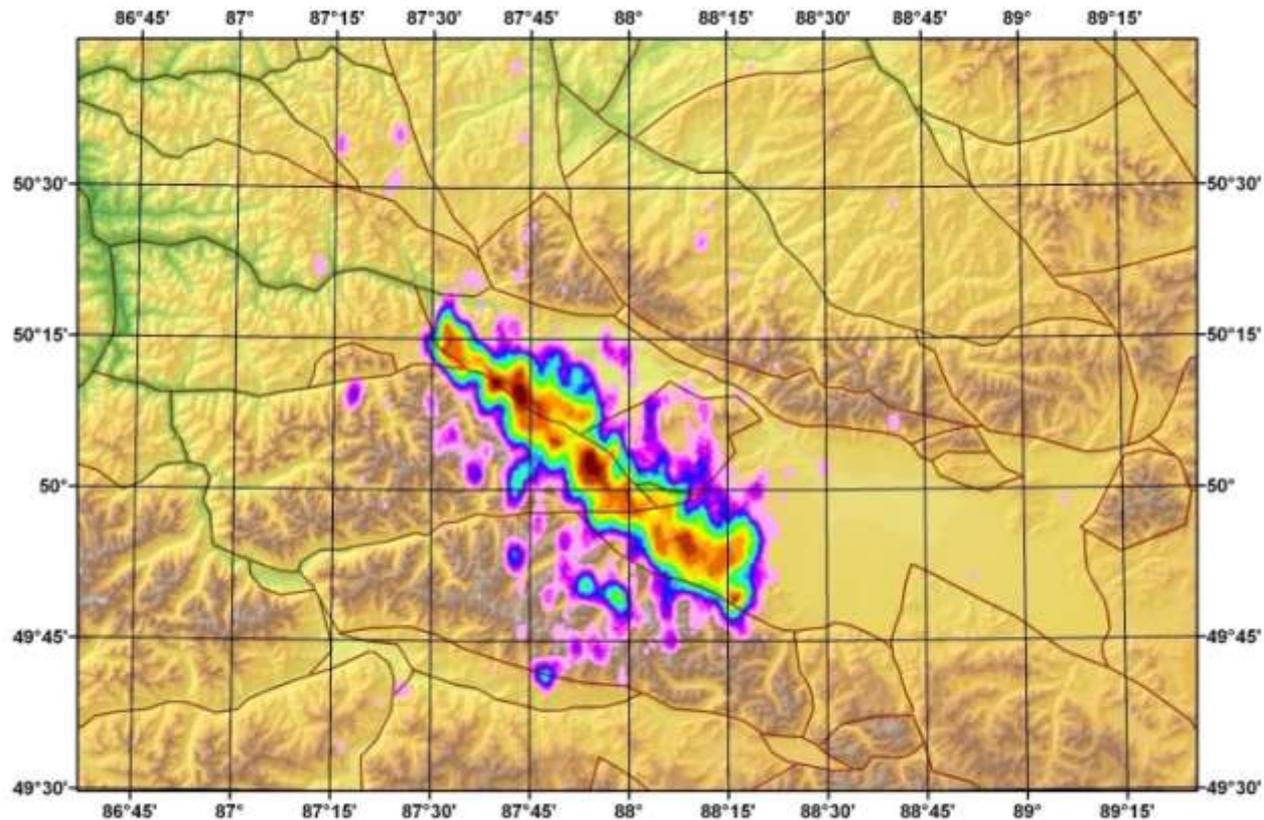
Карта суммарной сейсмической энергии афтершокового процесса Чуйского землетрясения за 2003 год



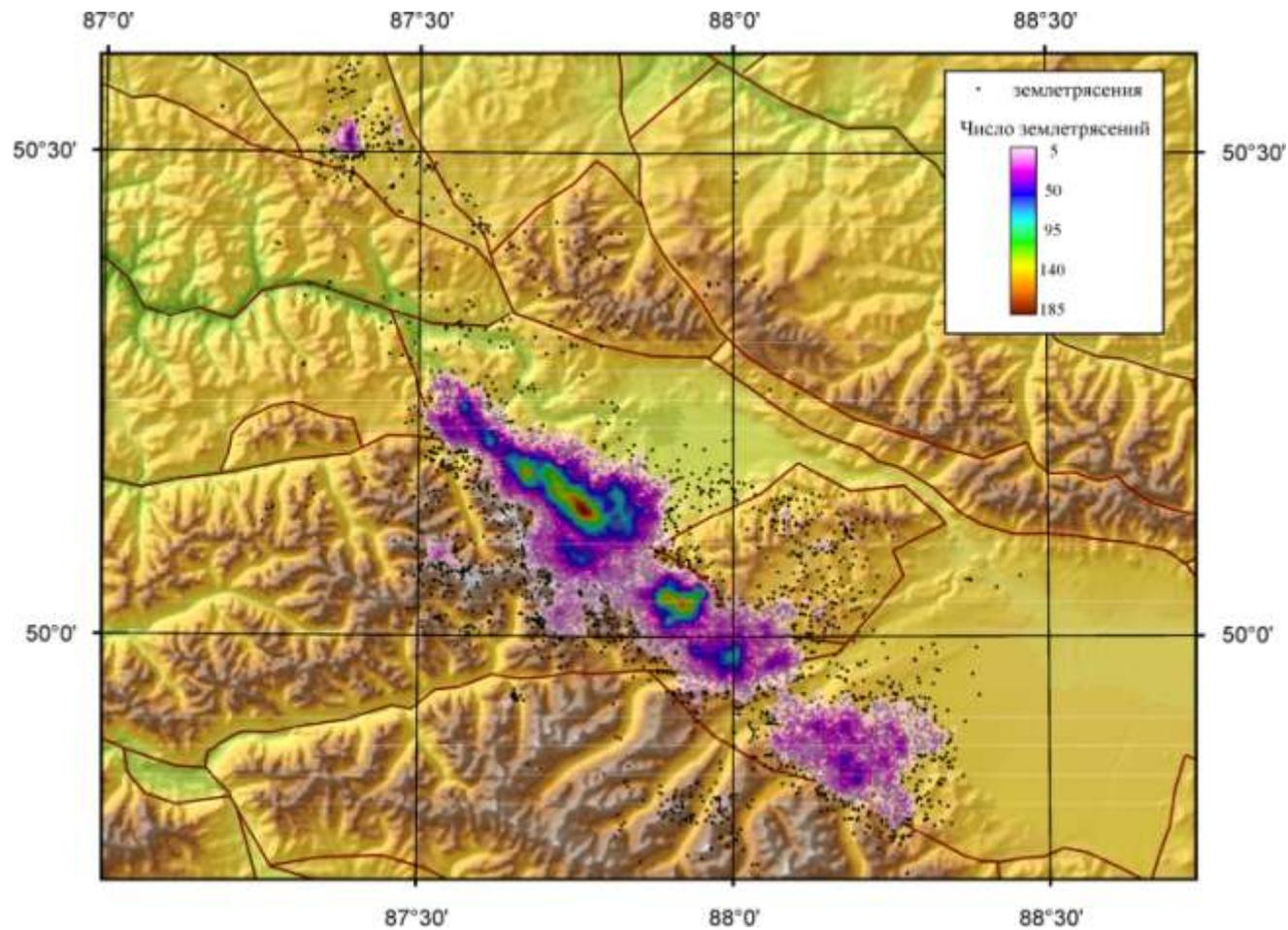
Карта суммарной сейсмической энергии афтершокового процесса Чуйского землетрясения. 2003-2008 годы



Карта суммарной сейсмической энергии афтершокового процесса Чуйского землетрясения с $K=8$. 2003-2008 годы



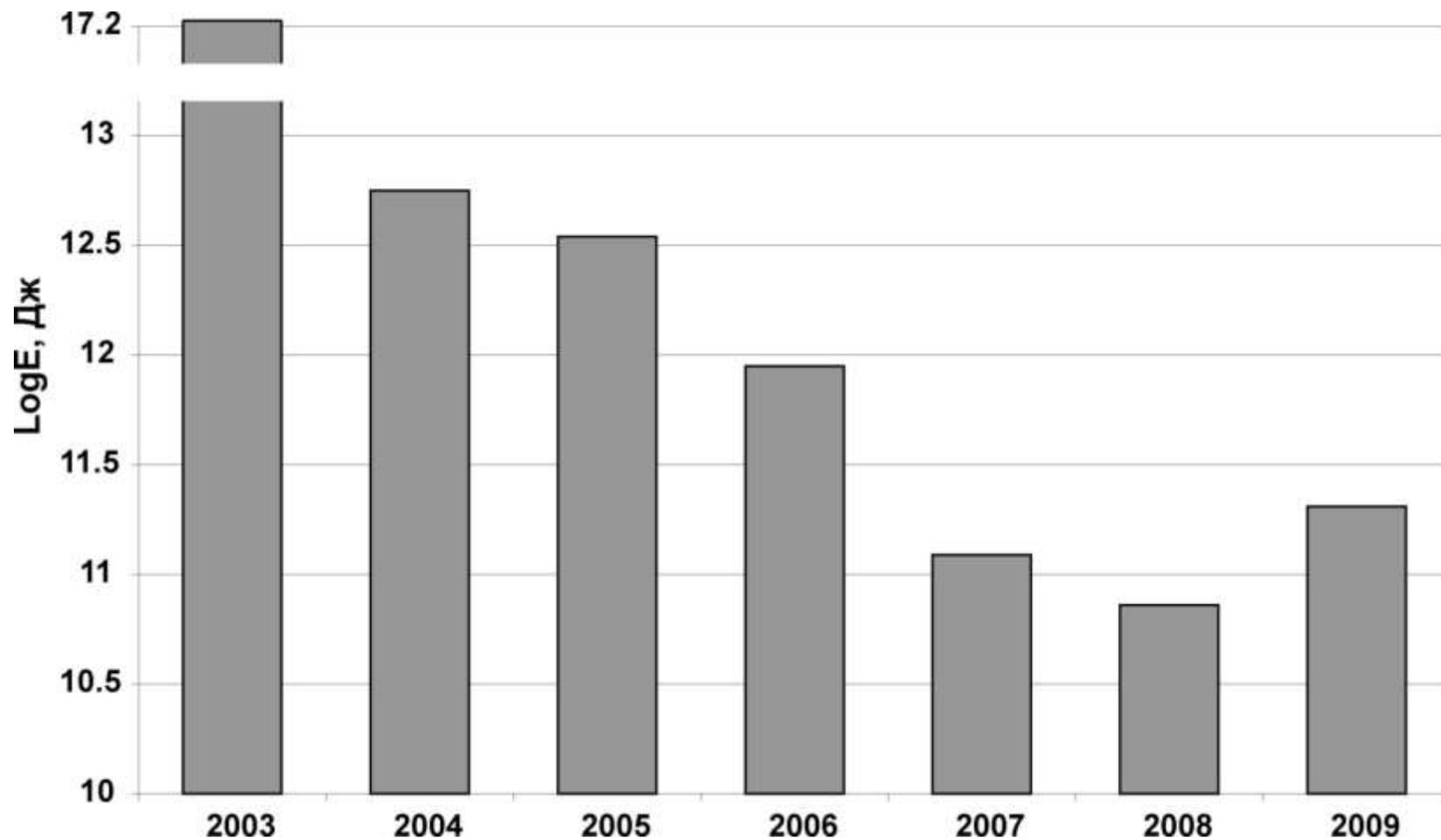
Карта плотности афтершоков Чуйского землетрясения



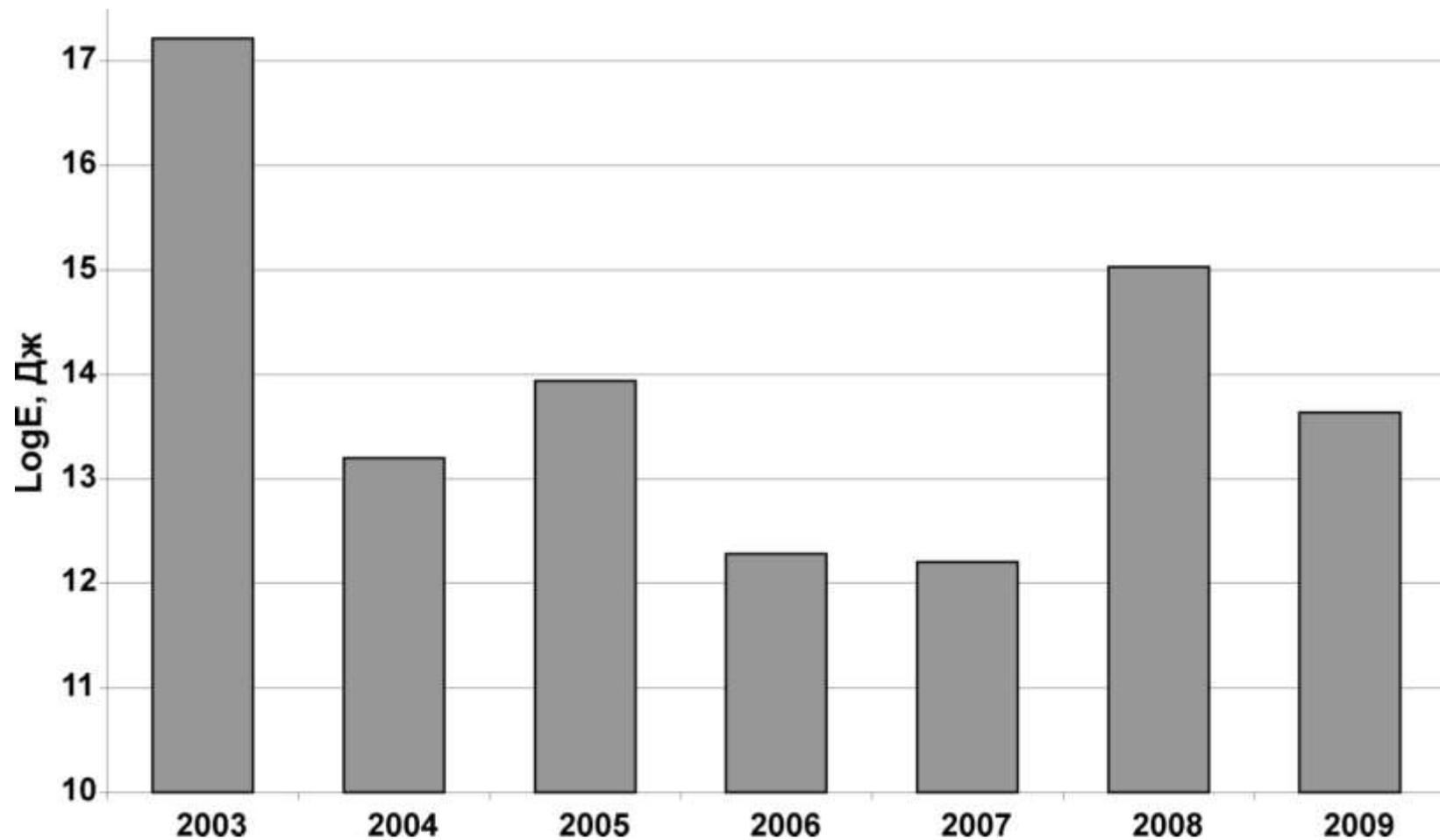
Особенности развития афтершокового процесса в последующем периоде (годы)

- Поэлементная структура афтершокового процесса устойчиво сохраняет себя во времени.
- Элемент афтершоковой области, соответствующий Чаган-Узунскому блоку пространственно устойчив в виде двух подэлементов: собственно эпицентр и линейная разломная структура с юга Чаган-Узунского блока.
- Элемент афтершоковой области, соответствующий Чуйской впадине, проявляет себя во времени как пространственно изменяющаяся система кратковременно активизированных нарушений.
- Элемент афтершоковой области в Курайской впадине (от Актру до Чаган-Узунского блока) проявляет себя система разно ориентированных активных разрывов.
- Элемент афтершоковой области в Курайской впадине (от Актру до п.Чибит пространственно устойчив во времени

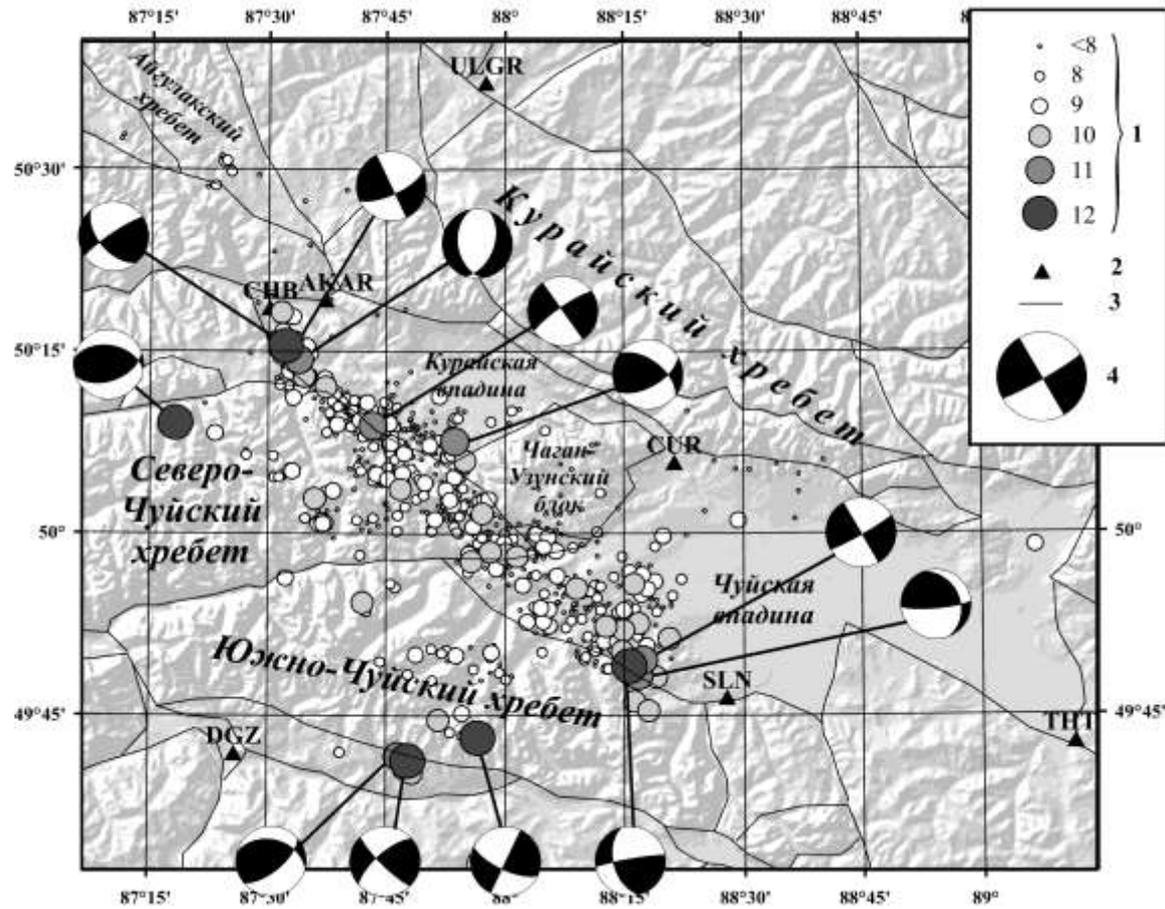
Суммарная сейсмическая энергия Чуйско-Курайской зоны по годам



Суммарная сейсмическая энергия Алтае-Саянской горной области по годам



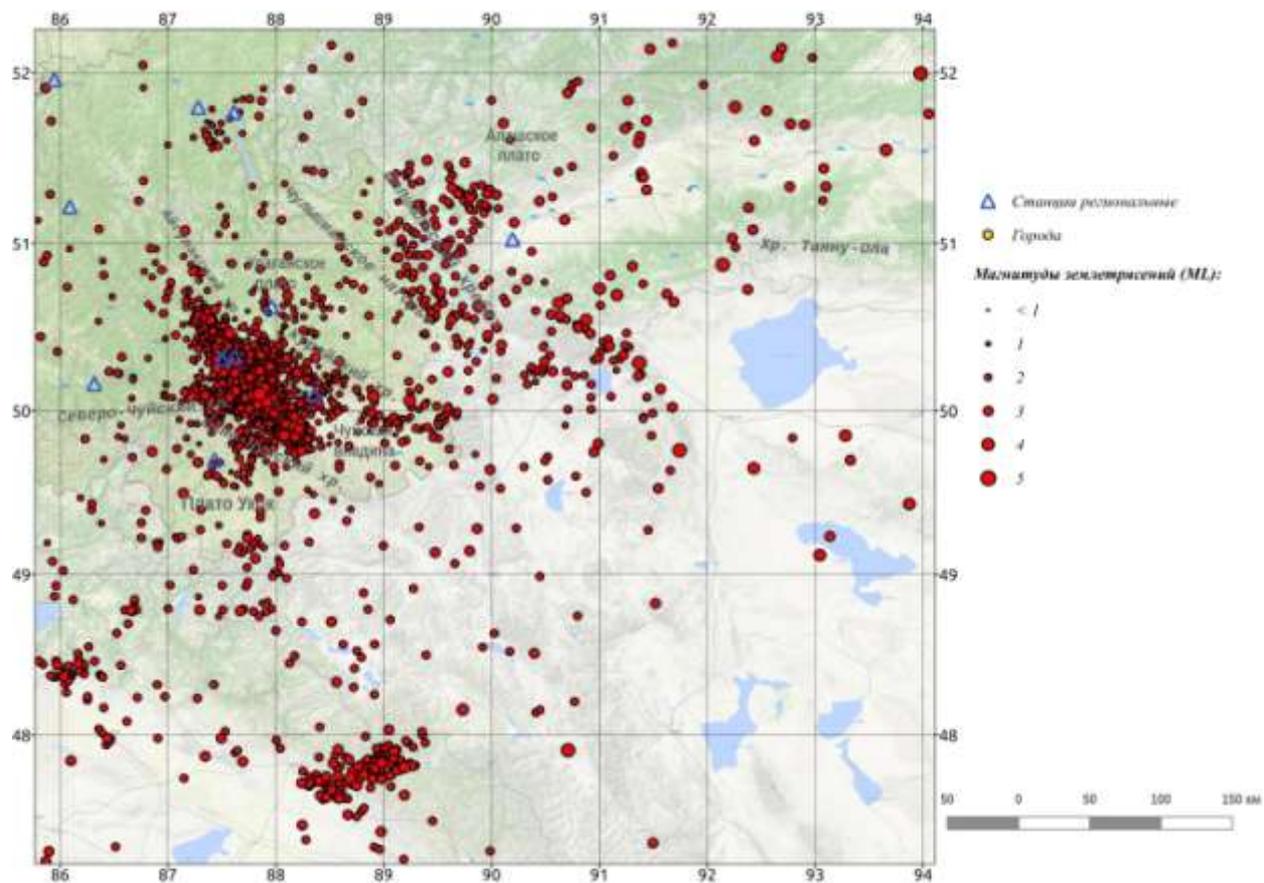
Карта эпицентров землетрясений Чуйско-Курайской зоны 2004 год



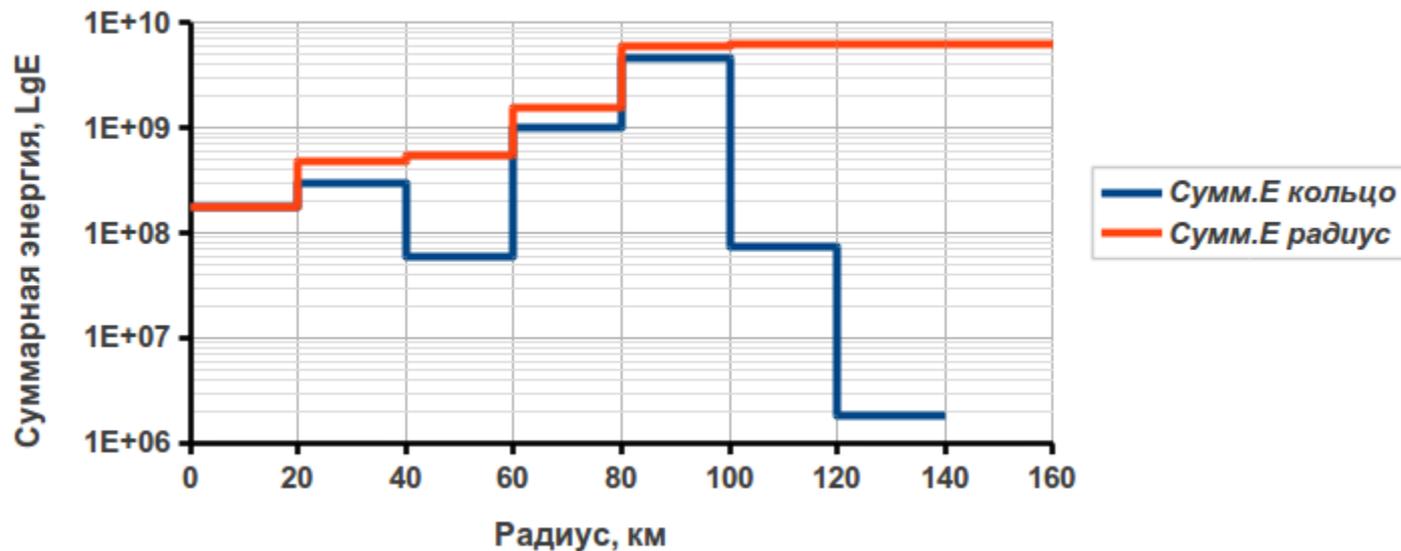
Развитие сейсмического процесса в сопряжённых с эпицентральной областью структурах

- Начиная с 2007 года наблюдается развитие роевой сейсмичности в локальной области Айгулакского хребта.
- Наблюдается распространение сейсмической активизации от зоны афтершокового процесса во внутренние области Южно-Чуского и Северо-Чуйского хребтов.
- В 2003-2004 годах сейсмический режим всей Алтае-Саянской горной области в значительной мере определяется последствиями Чуйского землетрясения.

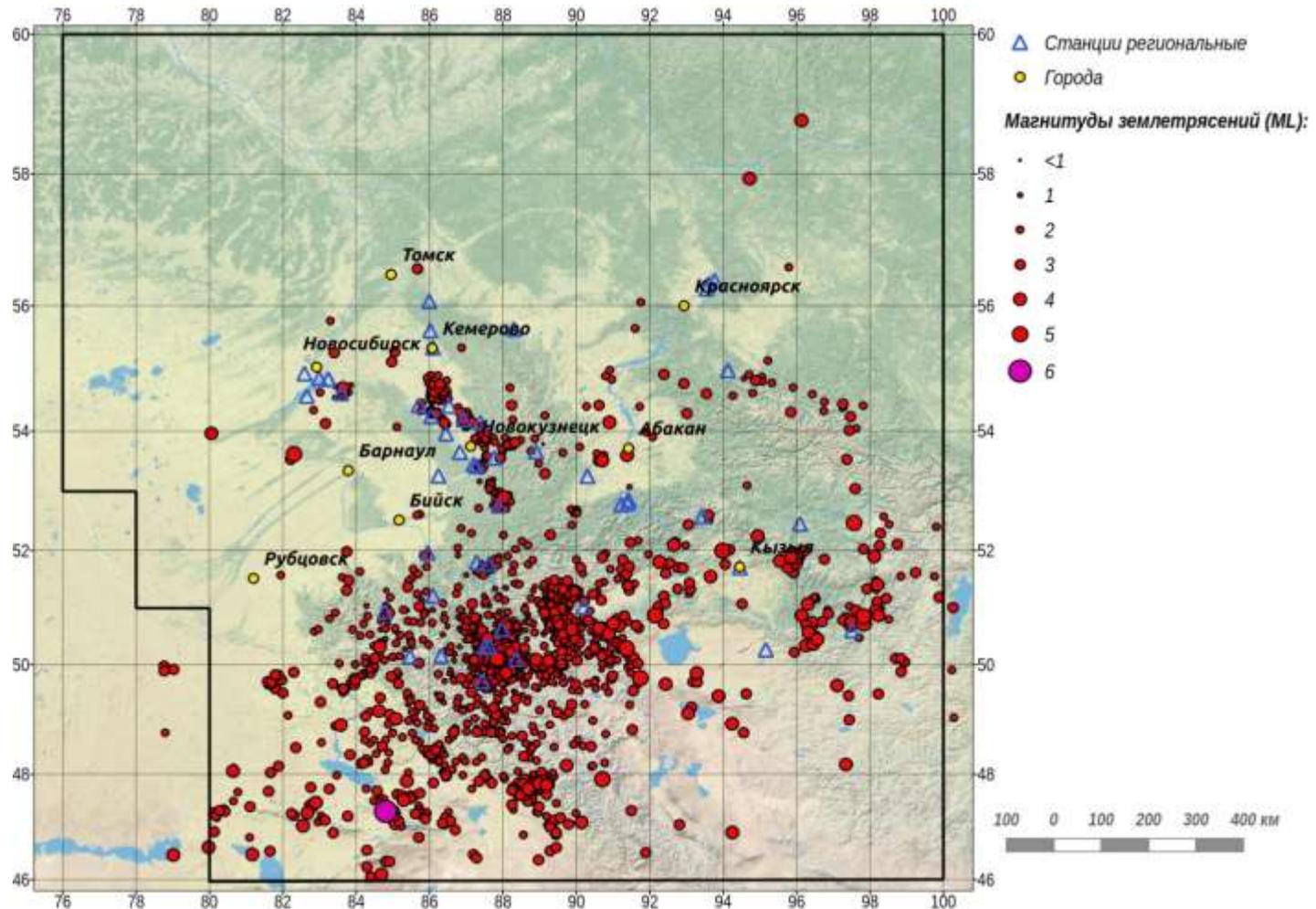
Карта эпицентров землетрясений Горного Алтая за 2017 год



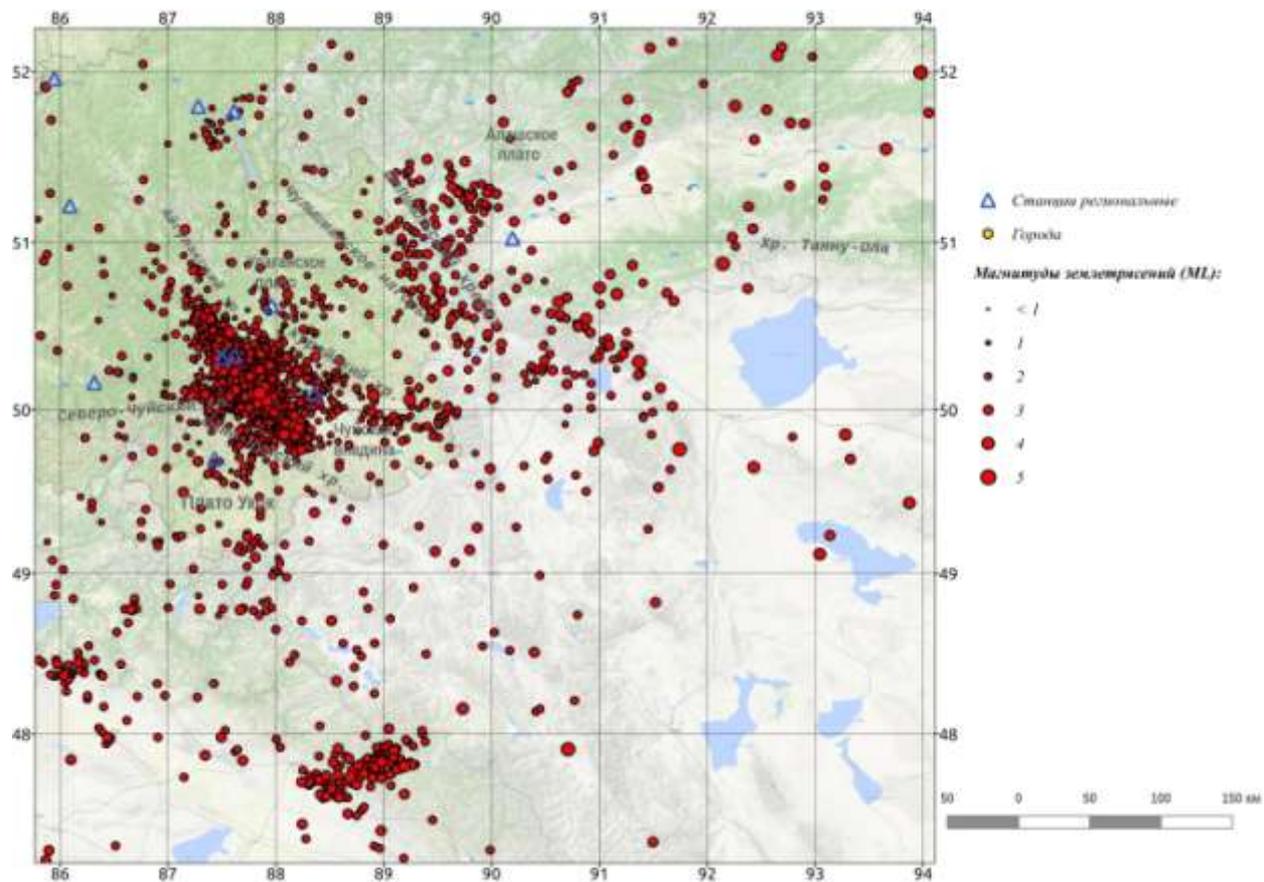
Изменение суммарной энергии с расстоянием от эпицентра Чуйского землетрясения с 22.06.2017 по 27.09.2017. Красная линия – энергия в круге по радиусу. Синяя линия – энергия в кольце.



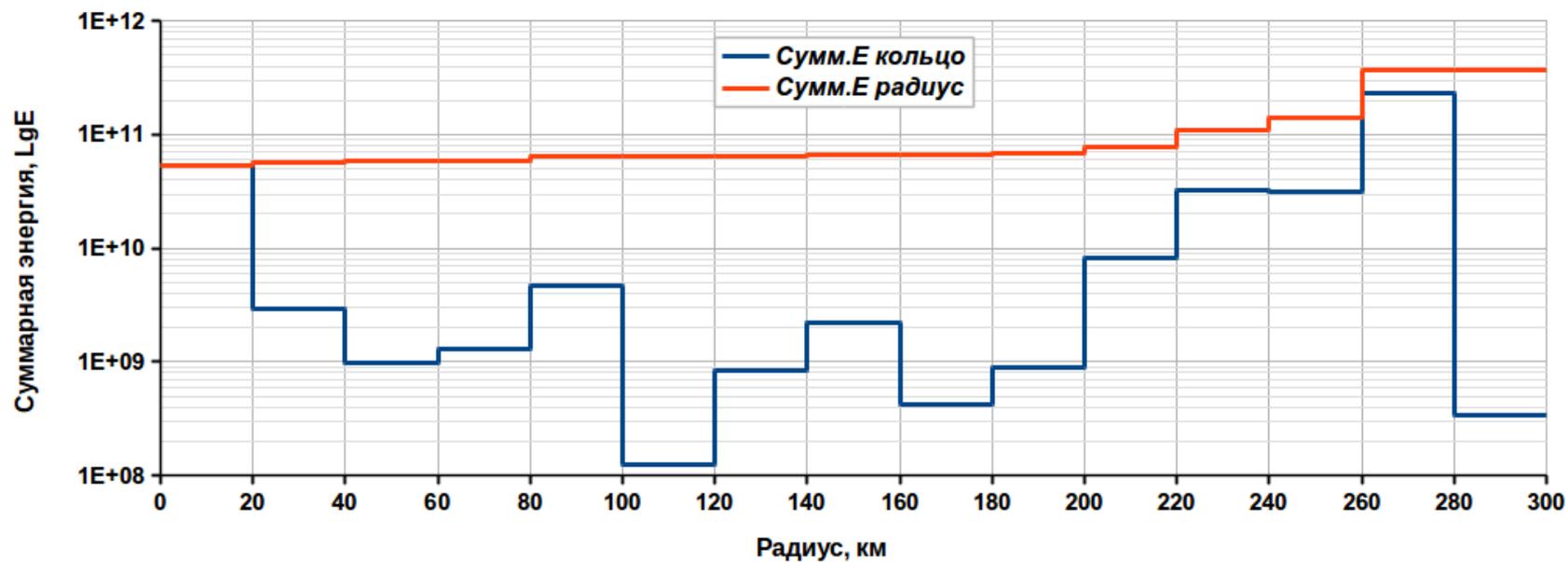
Карта эпицентров землетрясений 2017 год



Карта эпицентров землетрясений Горного Алтая за 2017 год



Изменение суммарной энергии с расстоянием от эпицентра Чуйского землетрясения по событиям 2017 года. Красная линия – энергия в круге по радиусу. Синяя линия – энергия в кольце.



Палеоземлетрясения в Курайской зоне разломов (Деев, 2018)

Положение очаговой зоны	Характер деформаций	Магнитуда M _w	I, баллы (шкала MSK-64)	Возраст
Северо-запад Чуйской впадины; Курайская зона разломов	Взброс с амплитудой смещения 1.8 м	6.9–7.1	8–9	~ 1.3 тыс. лет
Северо-запад Чуйской впадины; Курайская зона разломов	Надвиг с амплитудой смещения 4.8 м	7.2–7.5	9–11	~ 3.2 тыс. лет
Северо-запад Чуйской впадины; Курайская зона разломов	Разломный уступ высотой около 2 м	~7(?)	8–9(?)	~ 5.8 тыс. лет
Северная часть Курайской впадины; Курайская зона разломов	Взброс с амплитудой смещения 1.2 м	6.7–7.0	8–9	~ 6.5 тыс. лет

Схема изосейст Фуюньского землетрясения 10.08.1931 г. ($M = 8.0$, $I_0 = 11$), по (Хилько и др., 1985)

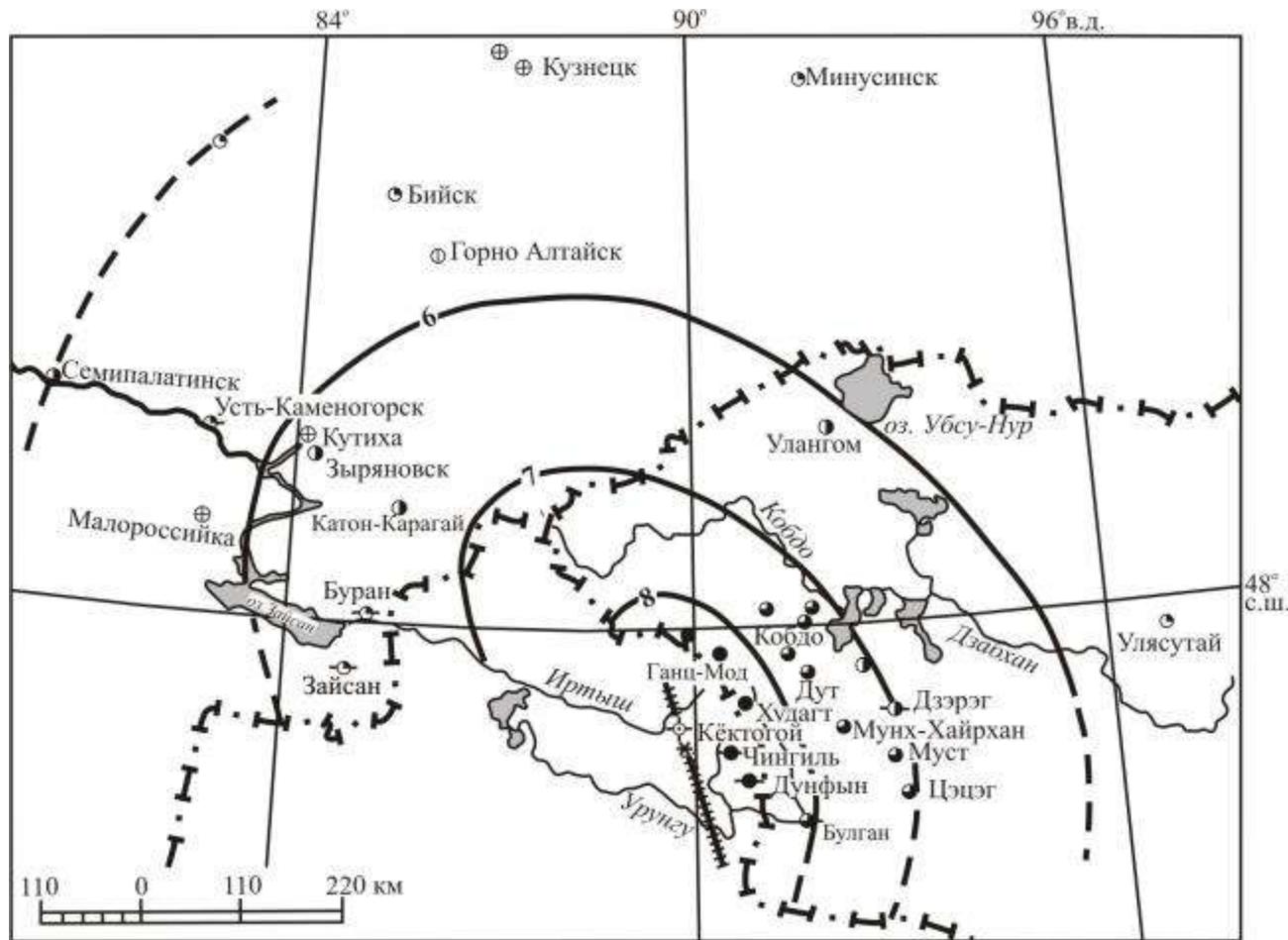
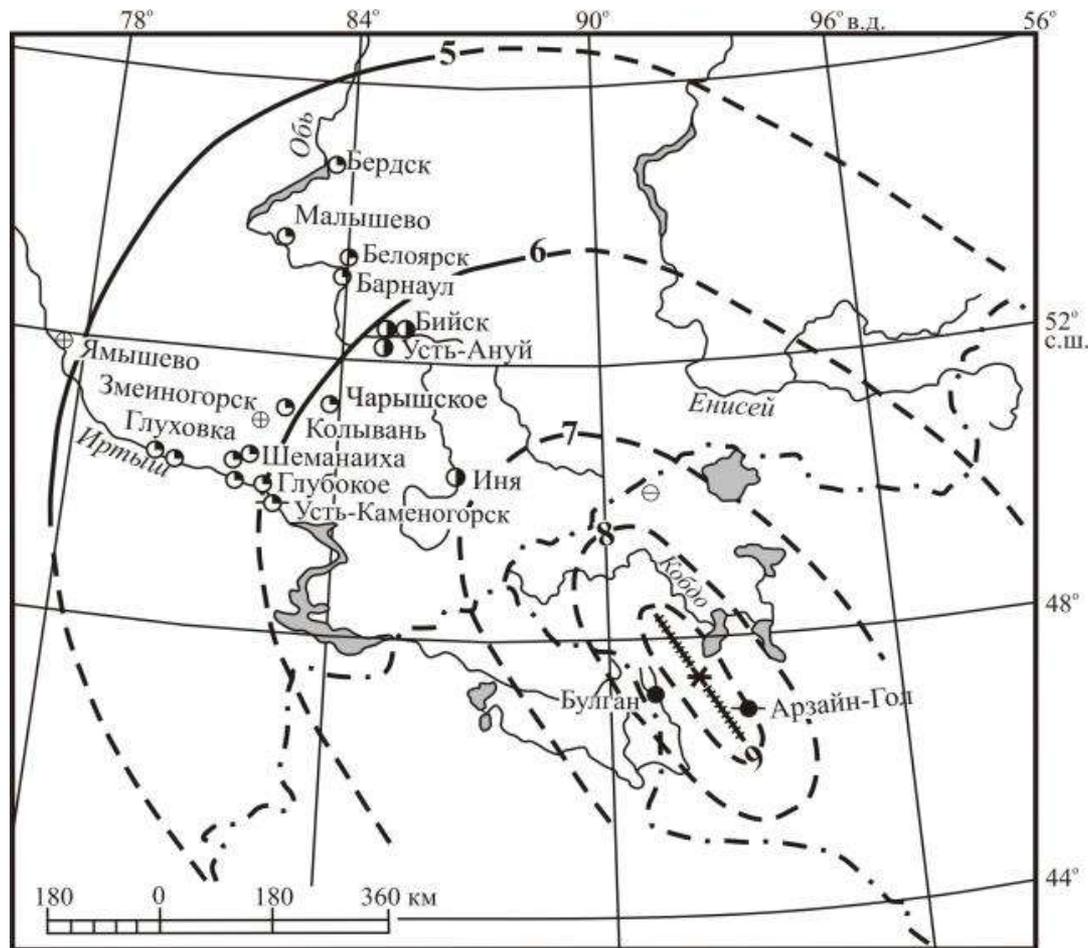


Схема изосейст Монгольского землетрясения 09.12.1761 г.
($M = 8.3$, $I_0 = 11$), по (Хилько и др., 1985)



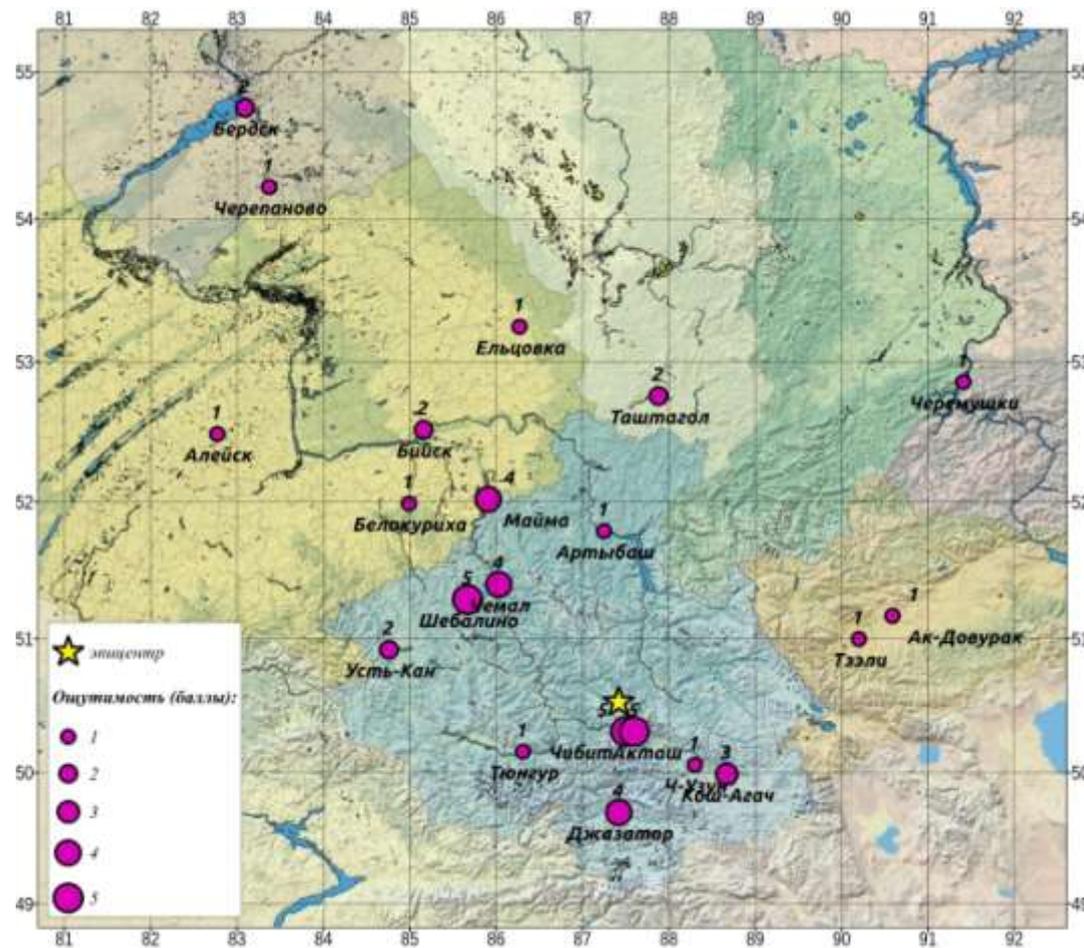
Особенности сейсмического режима Алтае- Саянской горной области.

- Не затихает сейсмическая активность в зоне Чуйского землетрясения. Продолжается смещение активности в смежные структуры
- В 2017-2018 годах отмечается повышенная сейсмическая активность геологических структур в радиусе до 300км от эпицентра Чуйского землетрясения: Шапшальский хребет и его стык с Западным Саяном, хребты Цаган-Шибету и Монгун-Тайга, Локальная структура в Монгольском Алтае, а так же район оз. Зайсан.
- С севера и юга оз. Телецкое охвачено слабыми землетрясениями.
- Неожиданными являются землетрясения в нижнем течении р. Ангары. Землетрясения на платформе – редкое явление и тем более, что они произошли ниже по течению Богучанской ГЭС и нет данных говорить об их природе.

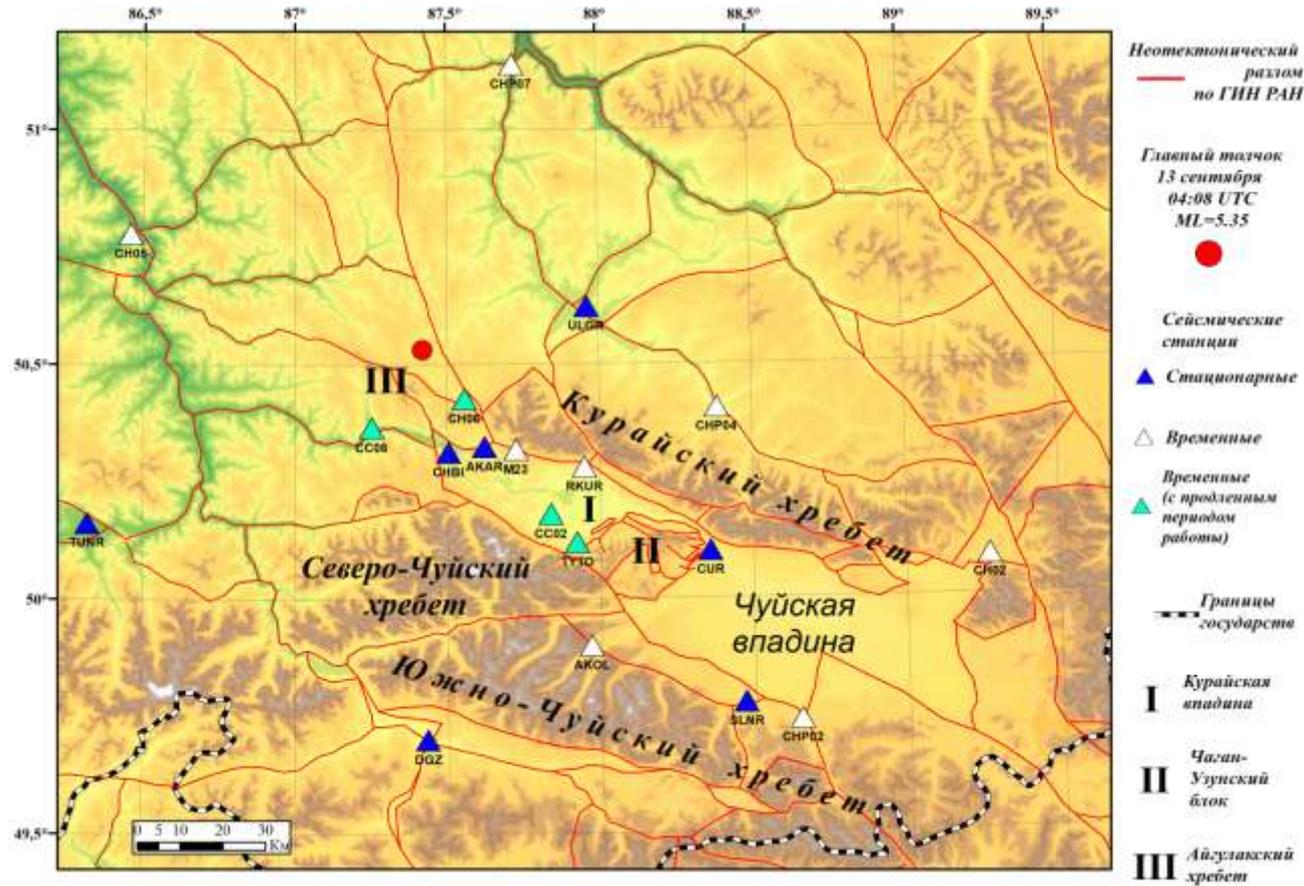
Опасные особенности в сейсмическом режиме Алтае-Саянской горной области

- В Монгольском Алтае сейсмически активизировано северное окончание эпицентральной зоны Фуюньского землетрясения 10.08.1931 г. ($M = 8.0$, $I_0 = 11$)
- Асейсмичность эпицентральной зоны Монгольского землетрясения 09.12.1761 г. ($M = 8.3$, $I_0 = 11$)
- Смещение сейсмичности в структуры Алтая, где только палеосейсмология фиксирует землетрясения с магнитудой более 7.

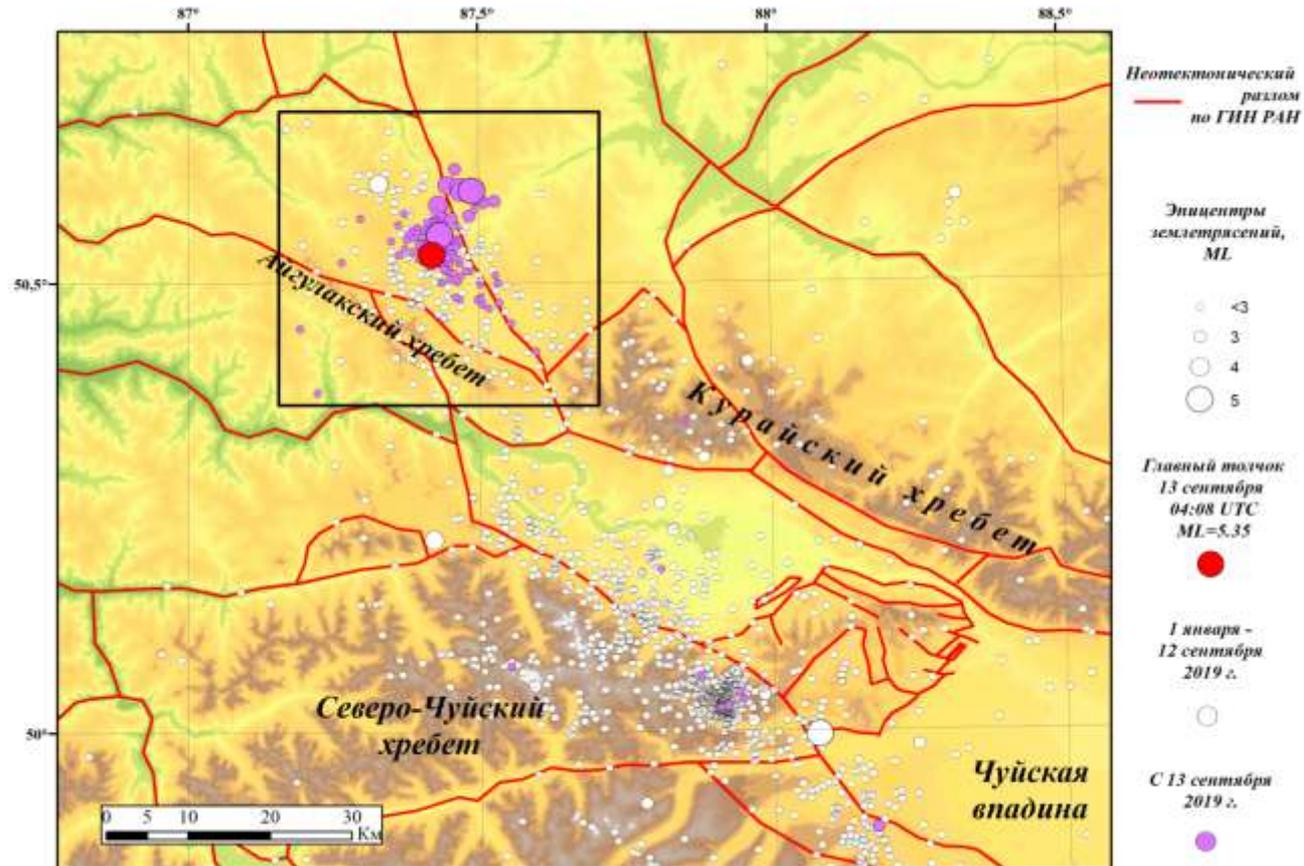
Макросейсмические проявления Айгулакского землетрясения $M_L=5.3$



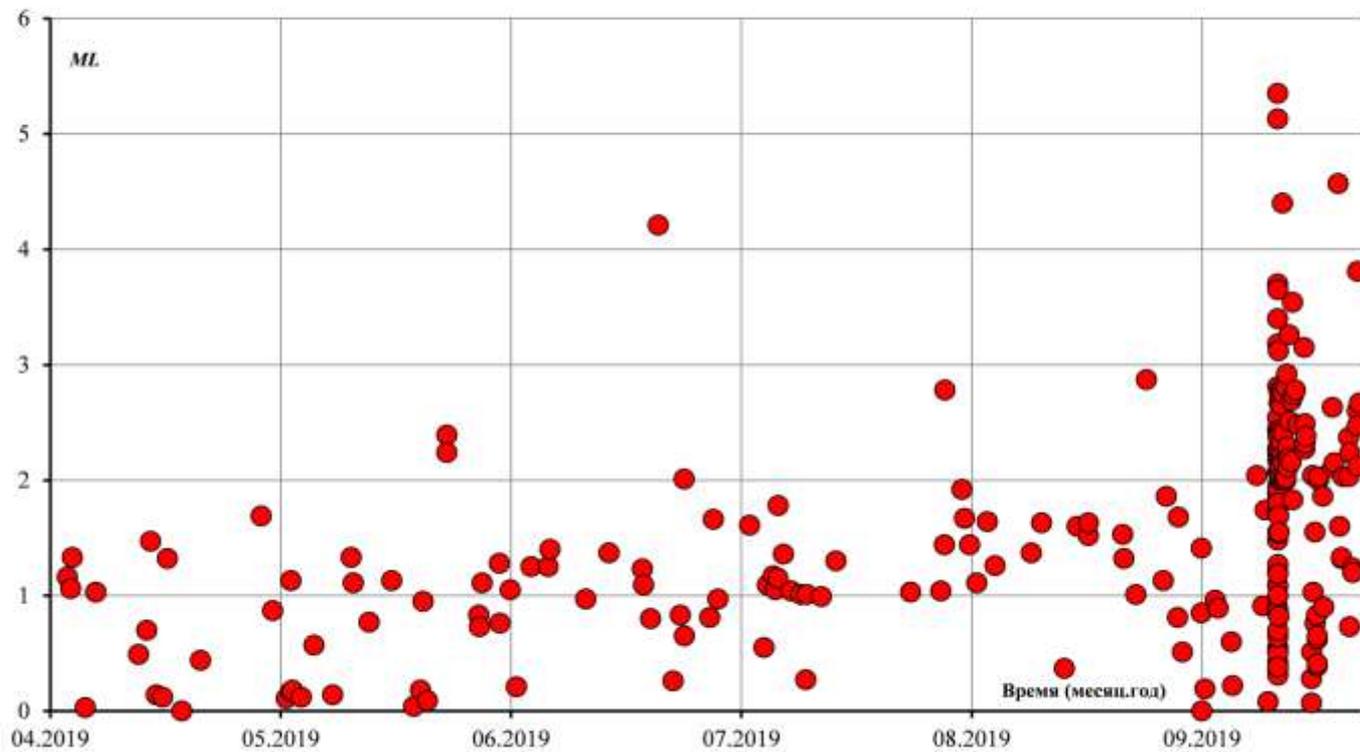
Сеть станций в Чуйско-Курайской зоне



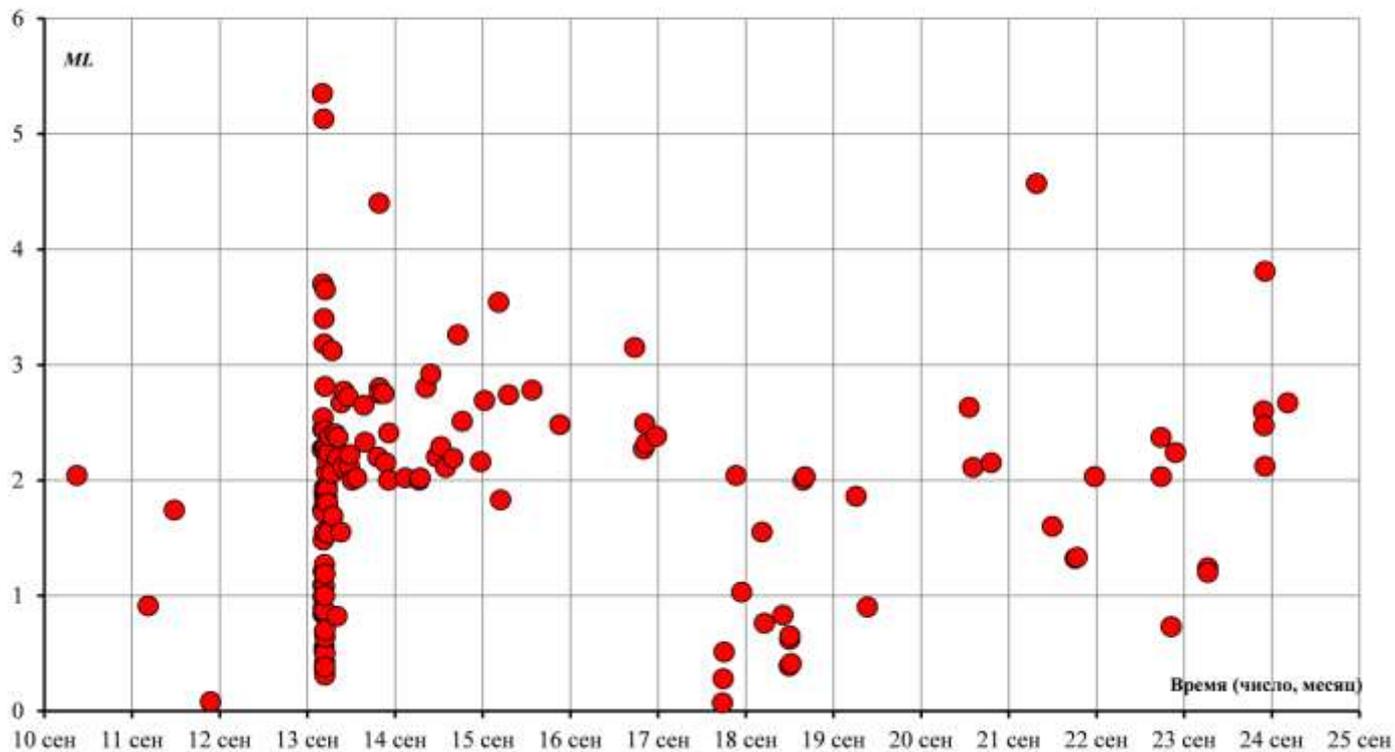
Айгулакское землетрясение $M_L=5.3$ и его афтершоки



Развитие во времени сейсмического процесса в районе Айгулакского хребта.



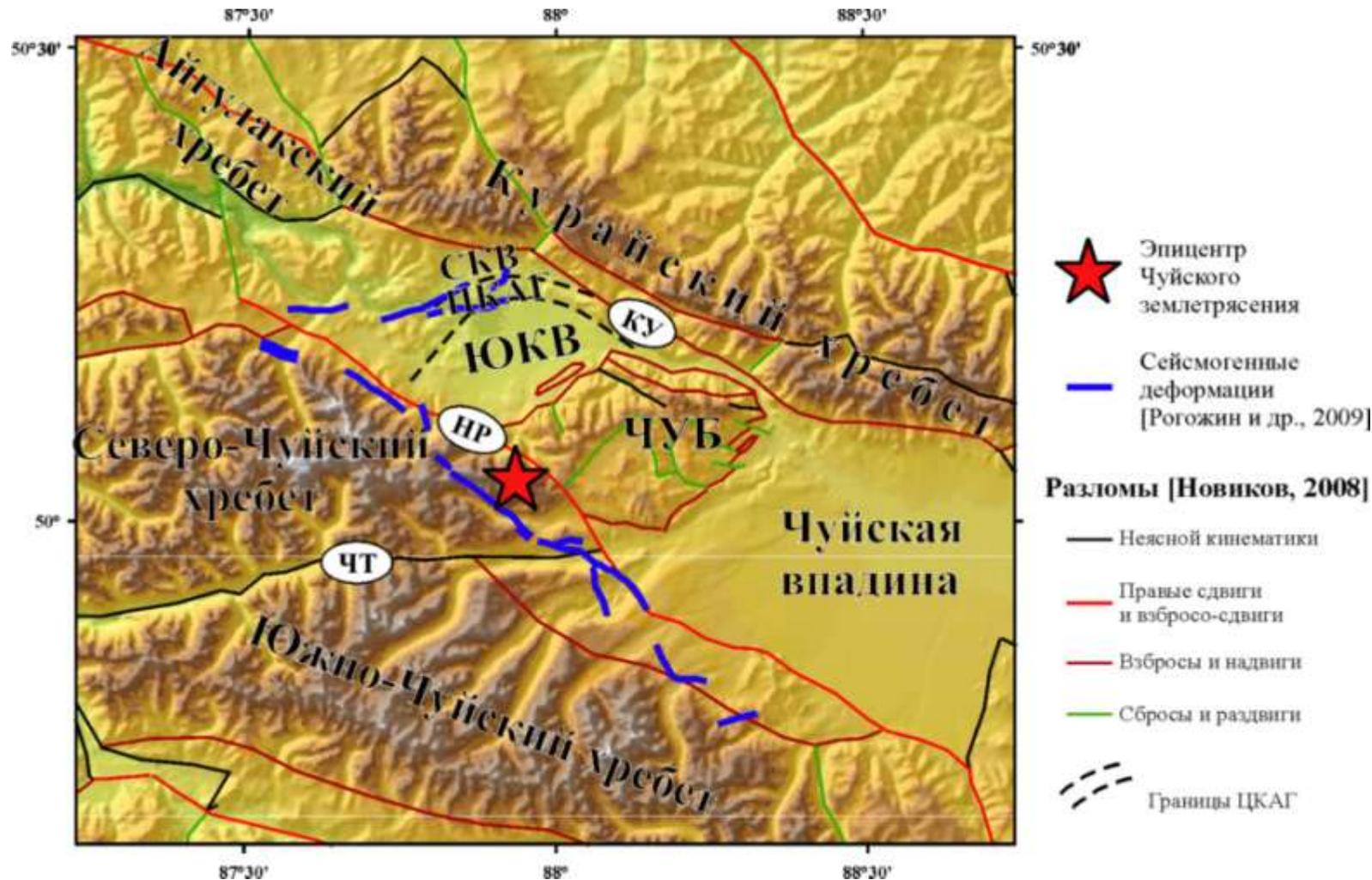
Развёртка во времени первых дней автершокового пероцесса.



Афтершоки Айгулакского землетрясения

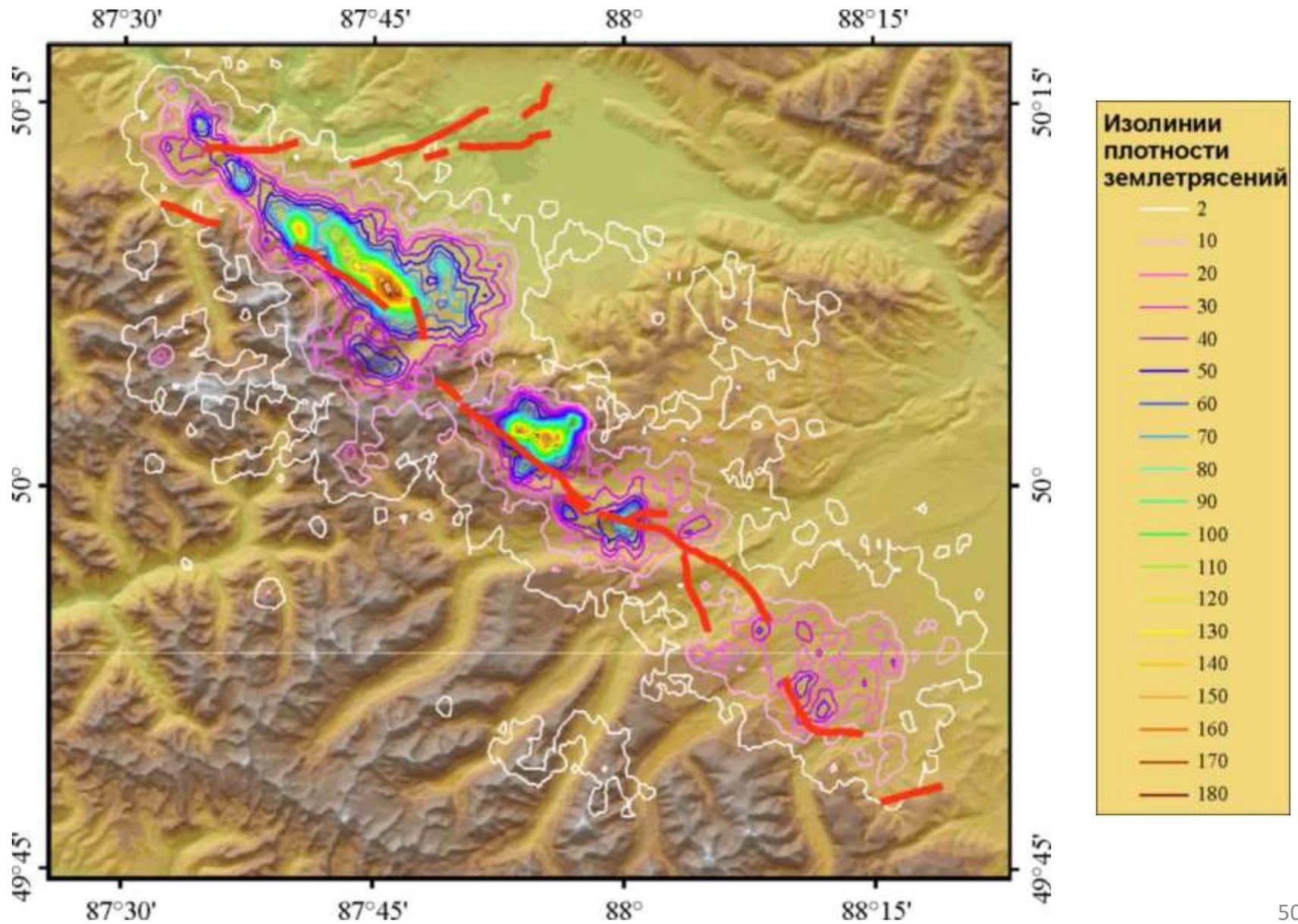
	Всего землетрясений	$M \geq 3$	$M = 2 \div 3$	$M = 1 \div 2$	$M < 1$
13.09.2019	181	7	33	88	52
14.09.2019	118	1	11	68	39
15.09.2019	76	1	5	28	42
16.09.2019	70	0	5	15	50

Основные структурные элементы тектоники Чуйско-Курайской зоны, эпицентр Чуйского землетрясения 2003 г. и сейсмогенные деформации

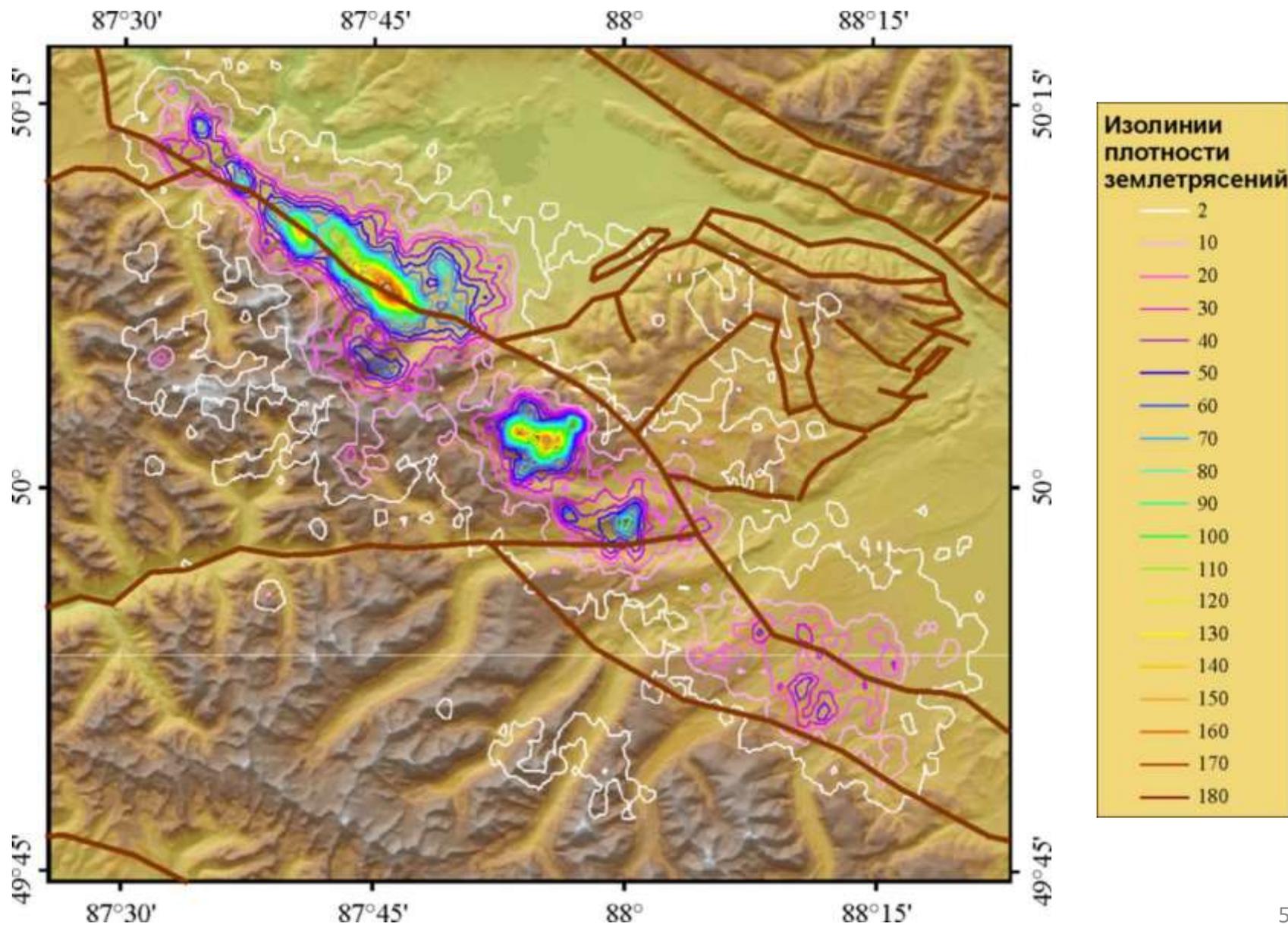


СКВ, ЮКВ – северная и южная части Курайской впадины, ЦКАГ – Центрально-Курайская антиклинальная гряда [Рогожин, 2002]; ЧУБ – Чаган-Узунский приподнятый блок.
Разломы: КУ – Курайский, ЧТ – Чарышско-Теректинский, НР – новейший.

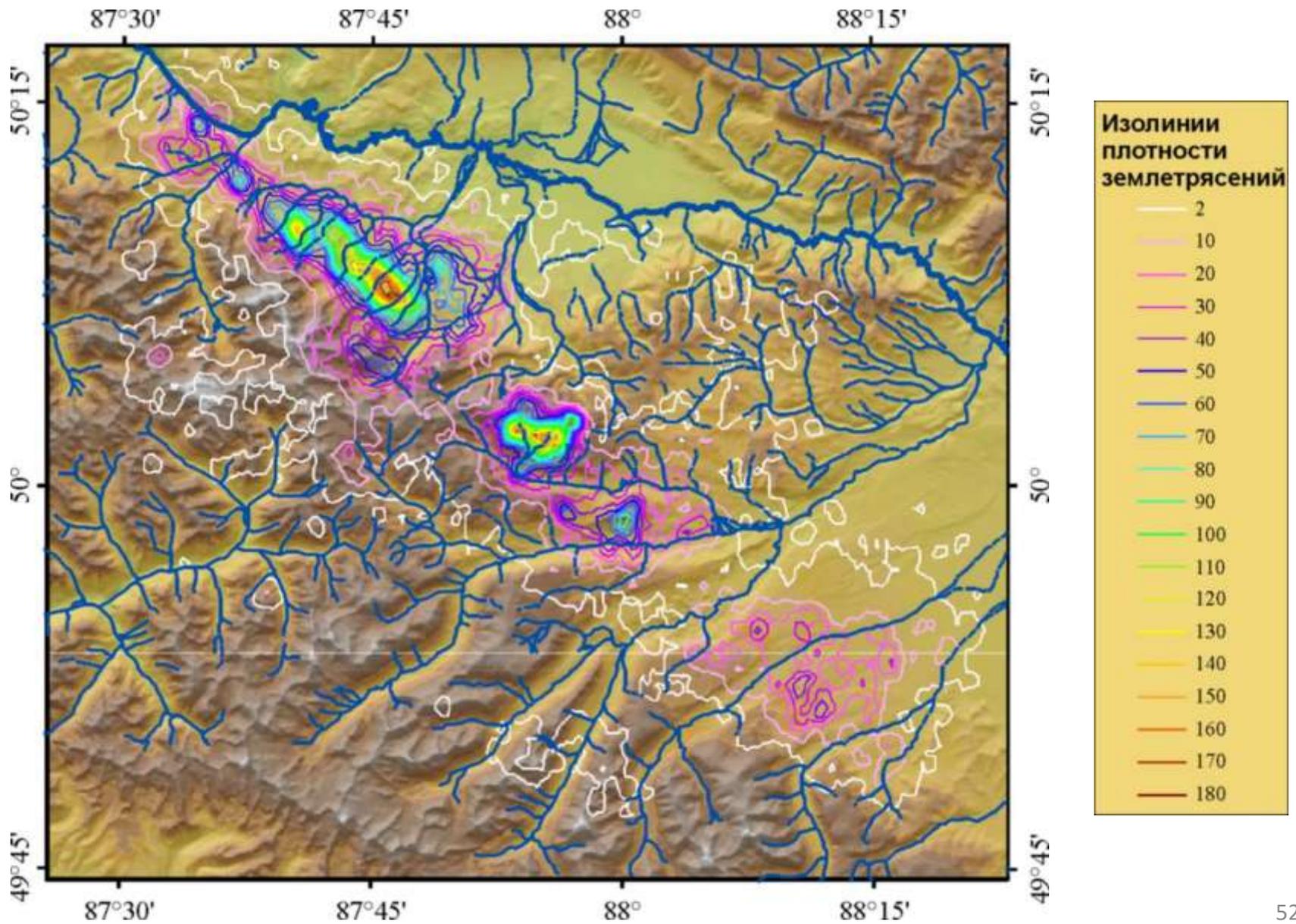
Сопоставление структуры афтершоковой области с сейсмодислокациями [Рогожин и др., 2009]



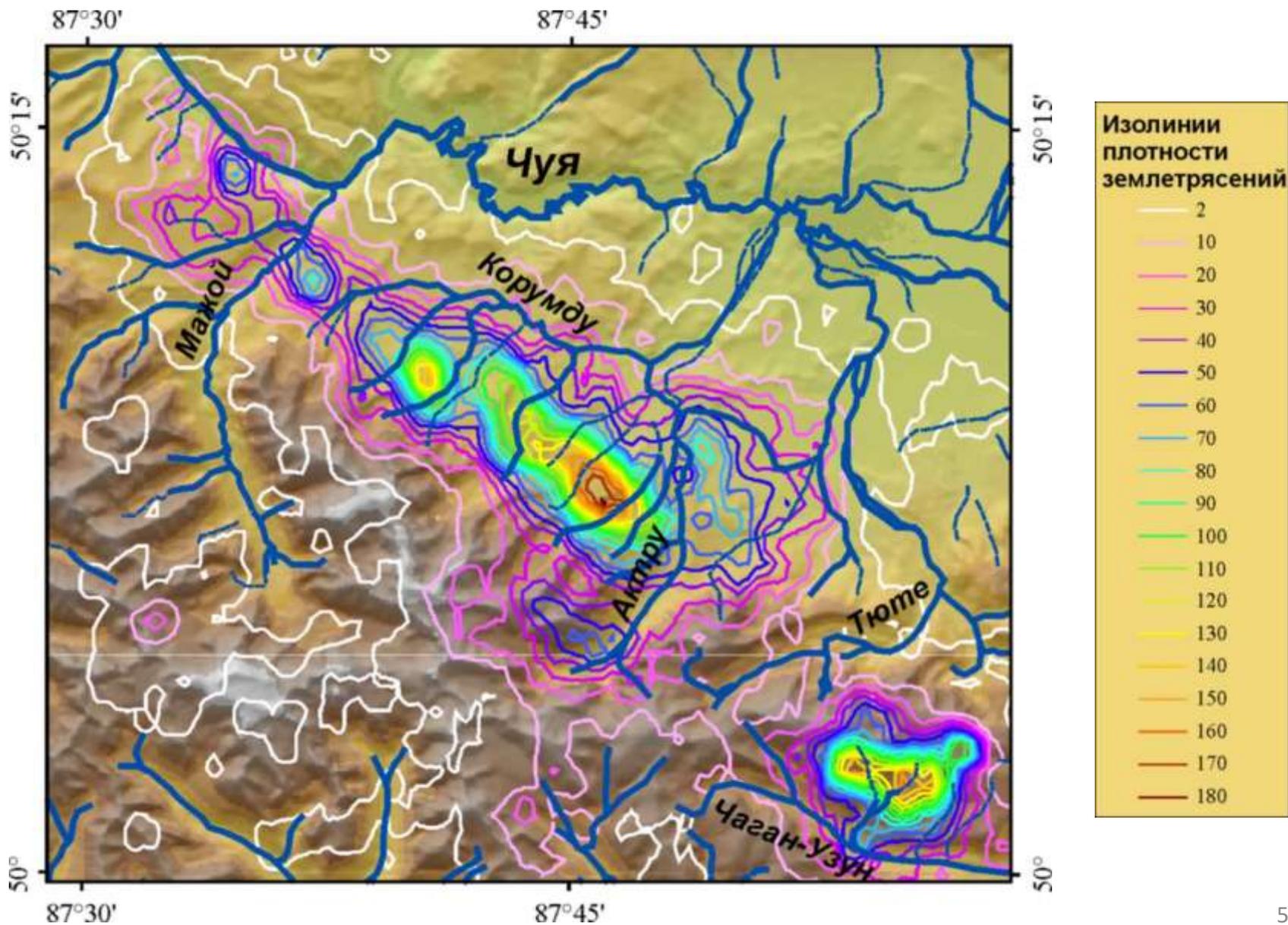
Сопоставление структуры афтершоковой области с блокоразделяющими разломами [Новиков и др., 2008]



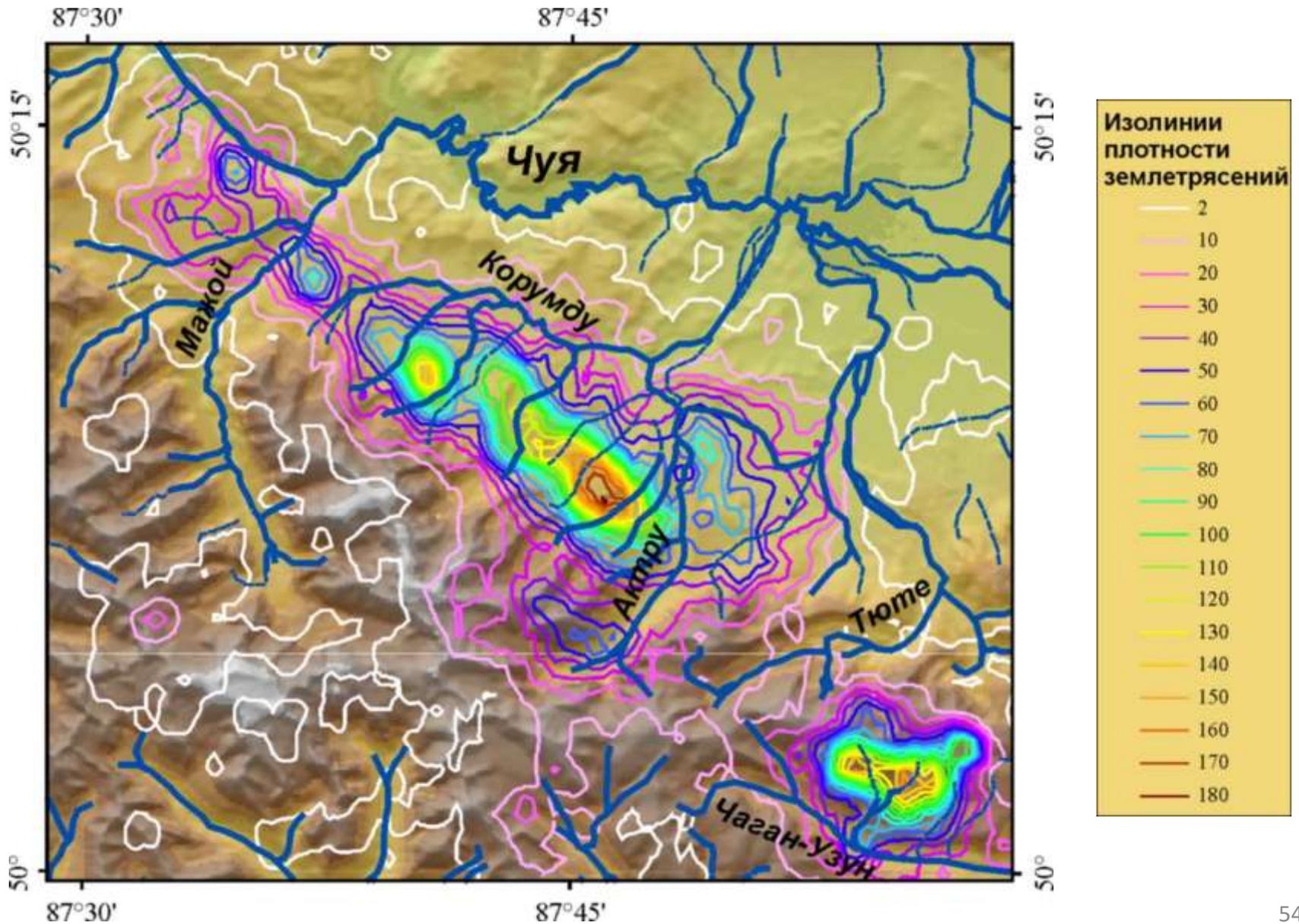
Сопоставление структуры афтершоковой области с речной сетью



Сопоставление структуры афтершоковой области с речной сетью



Сопоставление структуры афтершоковой области с речной сетью



Взгляды на физику очага землетрясения из эпицентральных исследований

- *Шебалин Н.В., Костров Б.В.* Движения в очагах афтершоков Дагестанского землетрясения и теория разрушения, 1976
- *Шебалин Н.В., Кузнецова К.И., Антекман Ж.Я., Штейнберг В.В.* Афтершоки последействия и афтершоки развития очаговой зоны Дагестанского землетрясения. 1976
- *Арефьев С.С.* Эпицентральные сейсмологические исследования, 2003
- *Рогожин Е.А., Иогансон Л.И., Завьялов А.Д., Захаров В.С., Лутиков А.И., Славина Л.Б., Рейснер Г.И., Овсюченко А.Н., Юнга С.Л., Новиков С.С.* Потенциальные сейсмические очаги и сейсмологические предвестники землетрясений-основа реального сейсмического прогноза. 2011

По Шабалин -Костров

- Повторные толчки, связанные с перераспределением напряжения в окрестности главного разрыва, можно разделить на два класса:
- К первому относятся толчки , возникающие из-за повышения напряжения или снижения прочности среды на разрывах, которые не испытывали подвижки в период подготовки.
- Природа повторных толчков второго класса более сложна. Подвижки происходят по разломам параллельным главному и подвижка может быть как совпадающего с главным направлением подвижки, так противоположного направления к нему.
- Первый класс –нормальные афтершоки, а второй класс –афтершоки разгрузки.

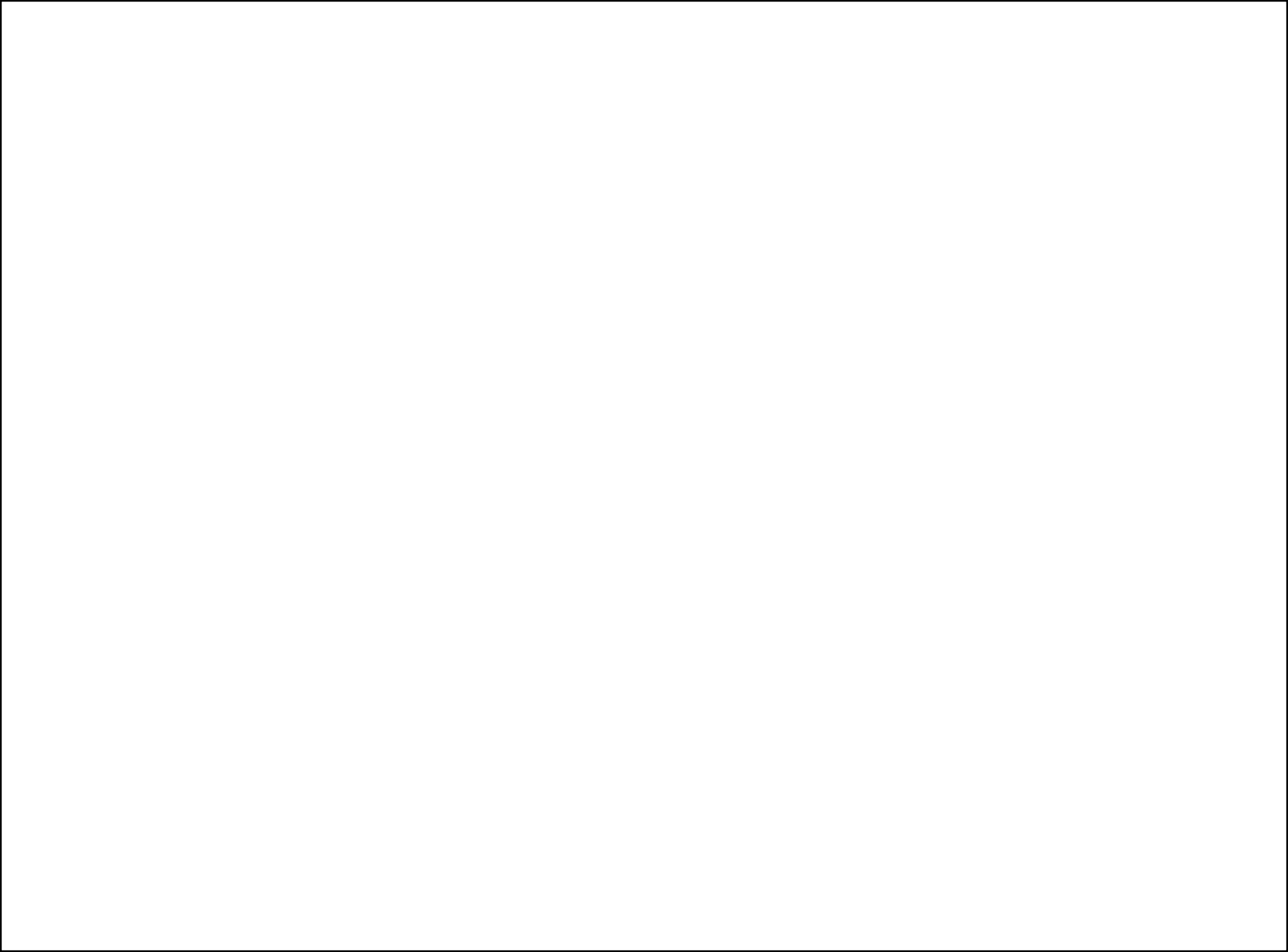
По Шебалину и др.

- Афтершоки Дагестанского землетрясения не заполняли равномерно всю плоскость главного разрыва, они разделились на две группы: вблизи гипоцентра главного толчка и вблизи западного края разрыва. Восточный край не был отмечен повышенной сейсмичностью.
- Афтершоки упомянутых групп закономерно отличались друг от друга. Афтершоковый процесс в области сильного Дагестанского землетрясения шел двумя разными путями.
- В центральной части афтершоки возникали в течение относительно короткого времени и среди них преобладали относительно сильные толчки. *Афтершоки последствия* происходят в разбитой главным событием среде.
- В краевой области заметное преобладание слабых афтершоков и длительно не спадающая сейсмическая активность. *Афтершоки развития* происходят в неподготовленной, неупорядочено раздробленной среде.

По Арефьеву

- Эпицентральные исследования очаговых зон сильных землетрясений позволили наметить ряд эффектов, которые пока не могут считаться достоверно установленными.
- Облако афтершоков располагается односторонне относительно линии разрыва, а сам разрыв не всегда происходит по разлому высшего для данной зоны ранга (Спитакское, 1988; Нефтегорское, 1995).
- Предполагается опасным, когда хаотическая миграция сводится к концентрации афтершоков на одном из краёв очаговой зоны (Ташкентское, 1971)
- Если размеры афтершоковой области аномальны (особенно в сторону уменьшения) относительно энергии события, то это может быть прогностическим признаком для сильного афтершока

1. Пространственная структура афтершоков определяется блоковым строением эпицентральной области. Четыре элемента первого уровня соотносятся с крупными блоками: Чуйская впадина, Чаган-Узунский блок, два блока Курайской впадины, а более мелкие блоки увязываются с поэлементными особенностями афтершокового процесса второго уровня.
2. Вдоль магистральной подвижки, сформировавшейся при главном толчке Чуйского землетрясения, афтершоковый процесс развивается прерывисто. Отмечаются участки магистральной подвижки, в пределах которых основной разрыв и афтершоковая активность совпадают, а также участки основного разрыва без афтершоков. В афтершоковом процессе Чуйского землетрясения обнаружены структуры ответвлений от магистрального разрыва.
3. По данным эпицентрального мониторинга 2003-2009 гг. установлено, что два элемента структуры первого уровня (на северо-западе Курайской впадины и Чаган-Узунский блок) стабильны в пространстве и времени, а два других (на северо-западной и юго-восточной границах Чаган-Узунского блока) со временем пространственно меняются, кратковременно активизируясь.
4. Афтершоковый процесс Чуйского землетрясения не охватывает разлом самого высокого ранга в этой зоне.
5. Зоны пересечения разломов менее сейсмичны, чем районы прохождения разрывом целиковых зон



Благодарим за внимание!

