

Новые аспекты сейсмической опасности на Урале

Дягилев Р.А.

XX Уральская молодежная школа по геофизике

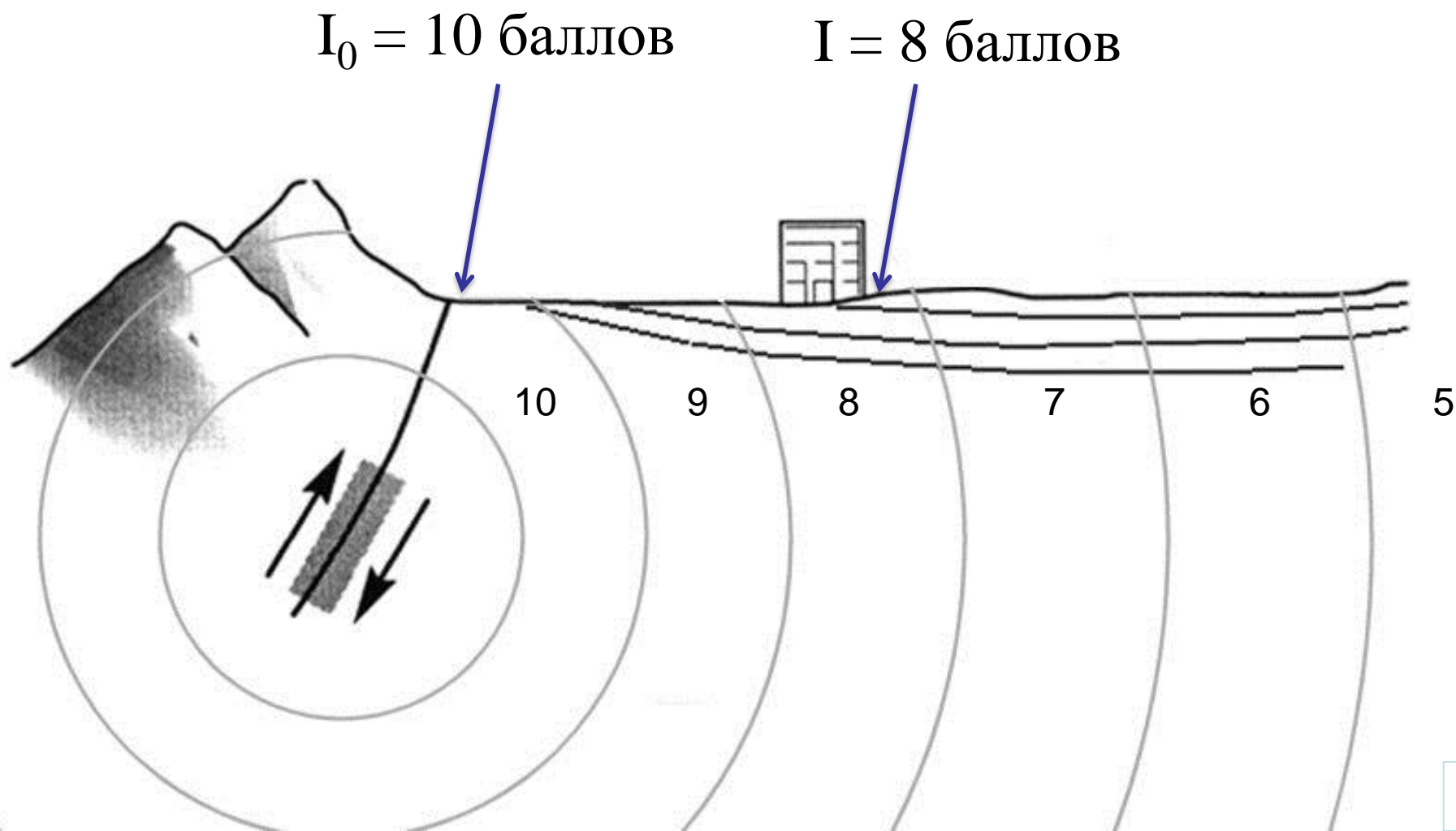
Основные термины

- **Сейсмическая опасность** – сейсмическая интенсивность (сейсмический эффект), превышение (или непревышение) которой возможно в данном пункте с заданной вероятностью в течение заданного интервала времени

Основные термины

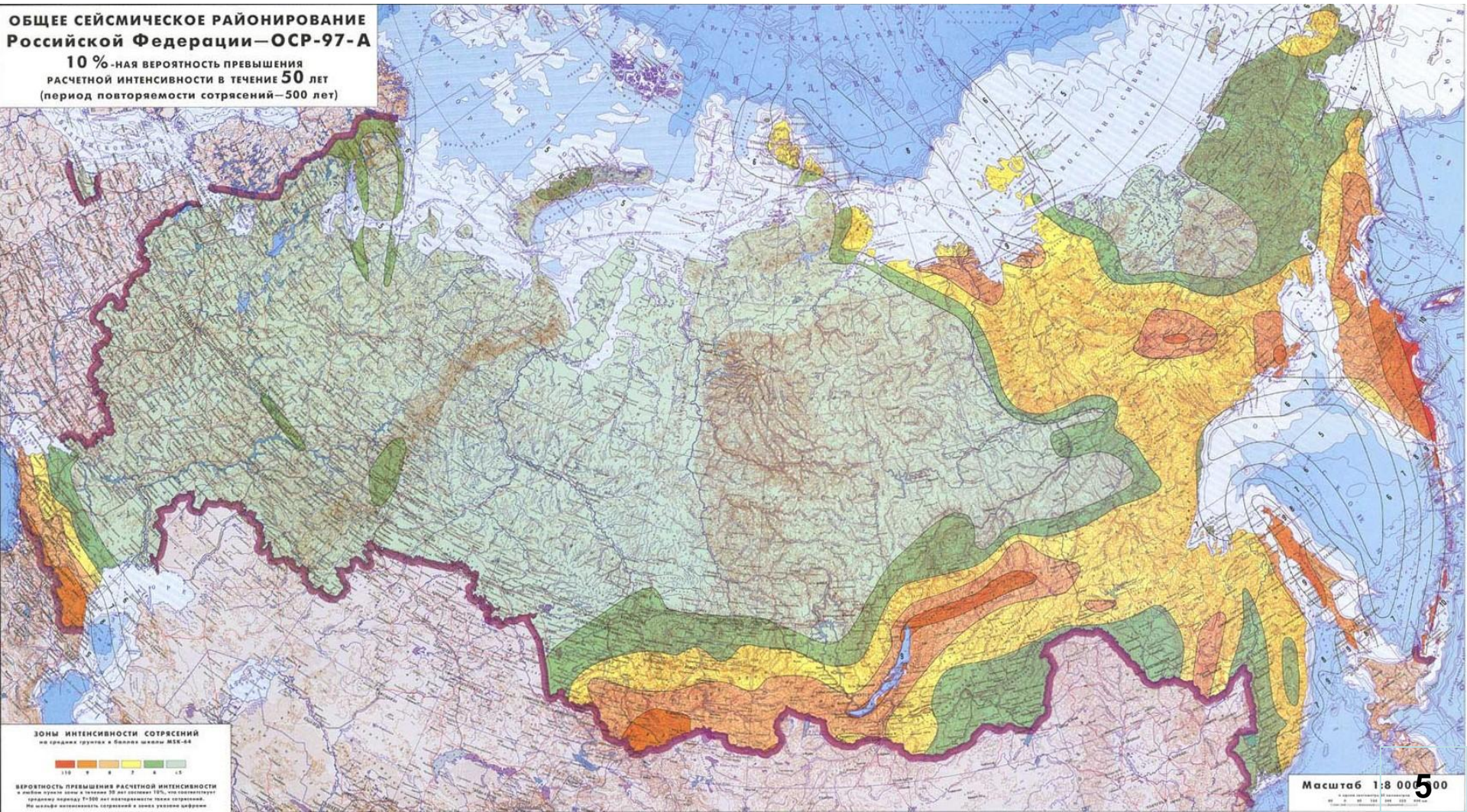
- **Интенсивность землетрясения (I)** – мера величины движений грунта при прохождении сейсмических волн, определяемая степенью разрушения строительных объектов, характером изменений земной поверхности, реакцией людей, испытавших землетрясение

Сейсмическая интенсивность



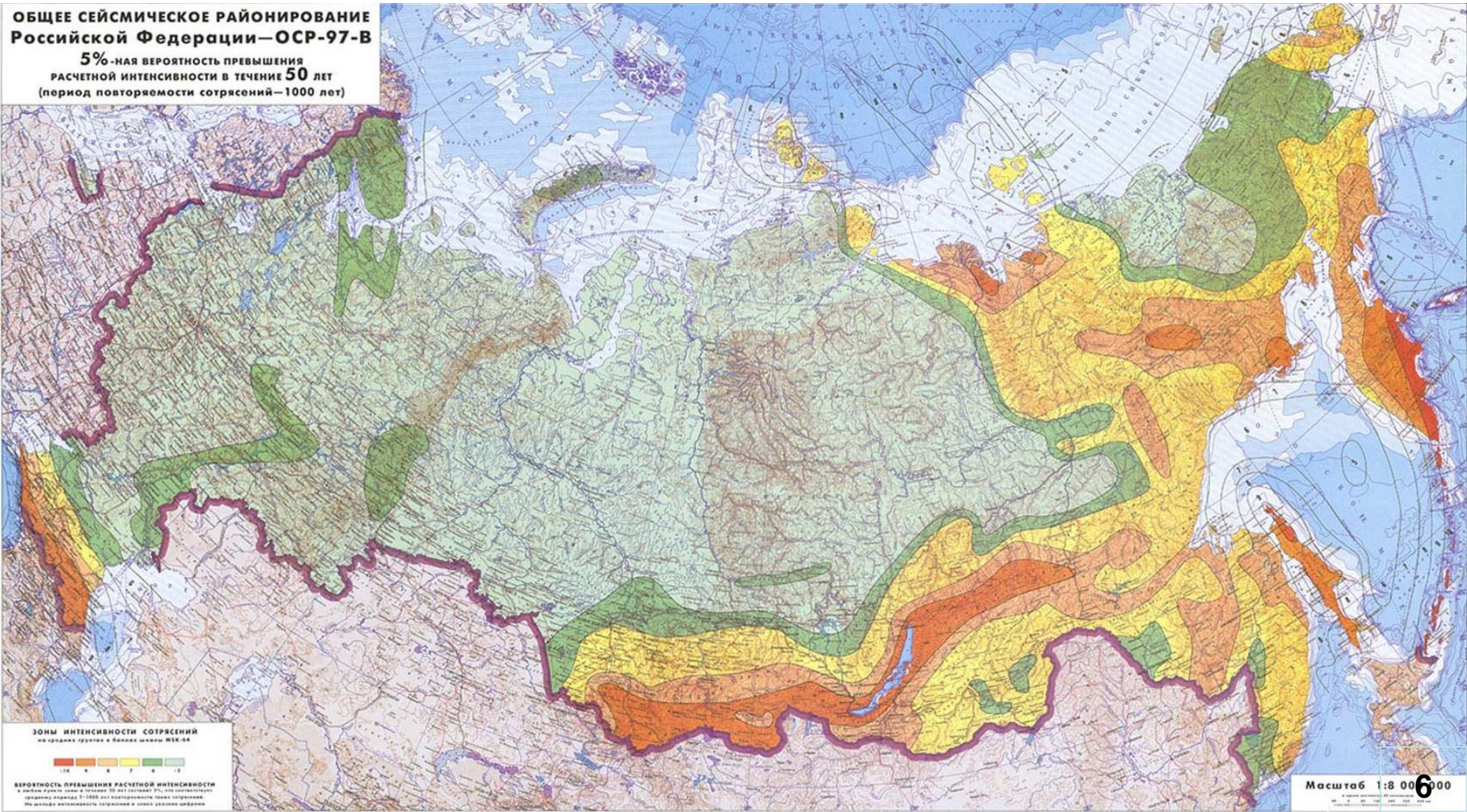
Карта ОСР-97-А

**ОБЩЕЕ СЕЙСМИЧЕСКОЕ РАЙОНИРОВАНИЕ
Российской Федерации—ОСР-97-А**
10 %-ная вероятность превышения
расчетной интенсивности в течение 50 лет
(период повторяемости сотрясений—500 лет)



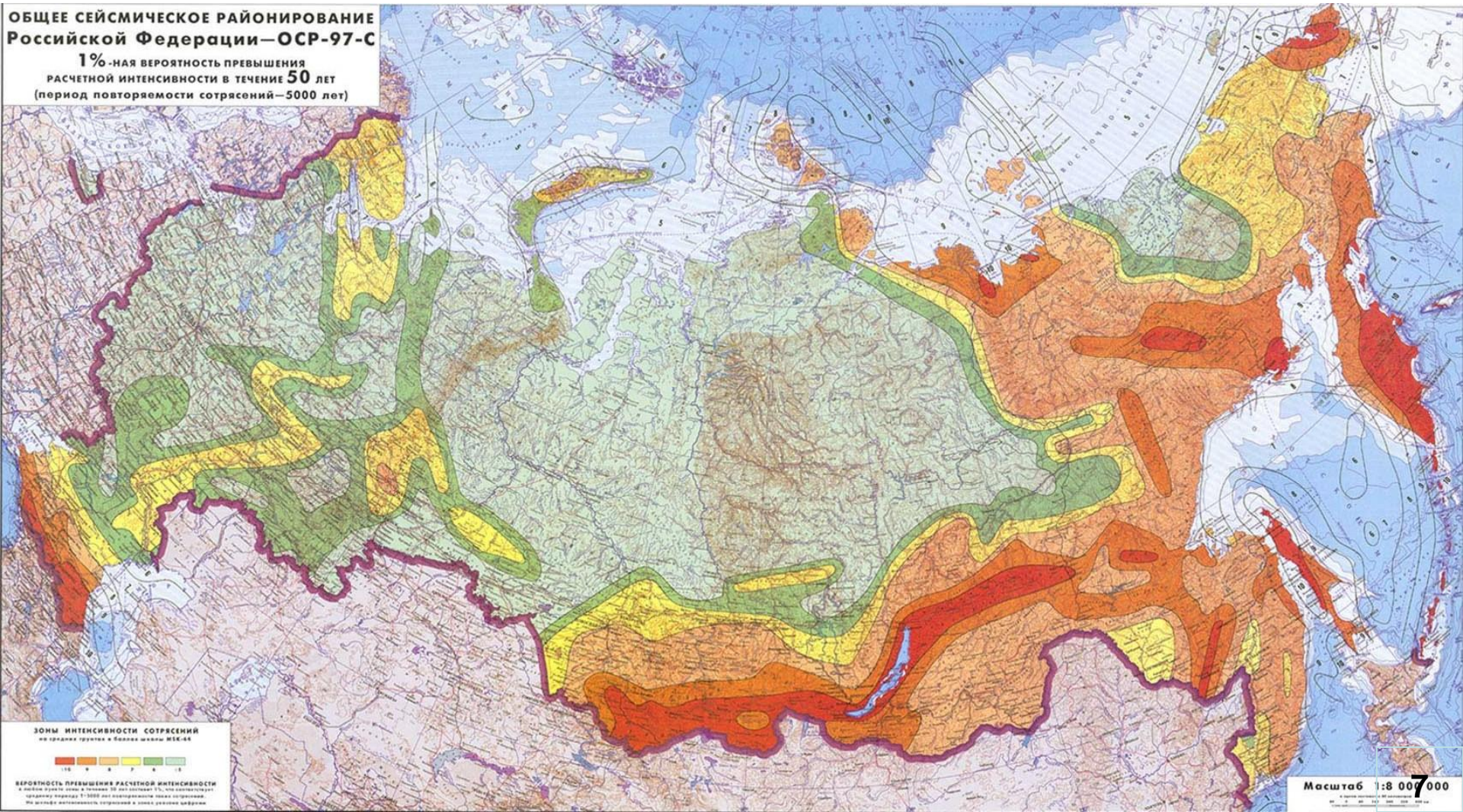
Карт ОСР-97-В

**ОБЩЕЕ СЕЙСМИЧЕСКОЕ РАЙОНИРОВАНИЕ
Российской Федерации—ОСР-97-В**
**5%-ная вероятность превышения
расчетной интенсивности в течение 50 лет**
(период повторяемости сотрясений—1000 лет)



Карт ОСР-97-С

**ОБЩЕЕ СЕЙСМИЧЕСКОЕ РАЙОНИРОВАНИЕ
Российской Федерации—ОСР-97-С**
**1%-ная вероятность превышения
расчетной интенсивности в течение 50 лет**
(период повторяемости сотрясений—5000 лет)



Зоны интенсивности сотрясений
по границе зон и в более мелких масштабах

10	9	8	7	6	5	4
----	---	---	---	---	---	---

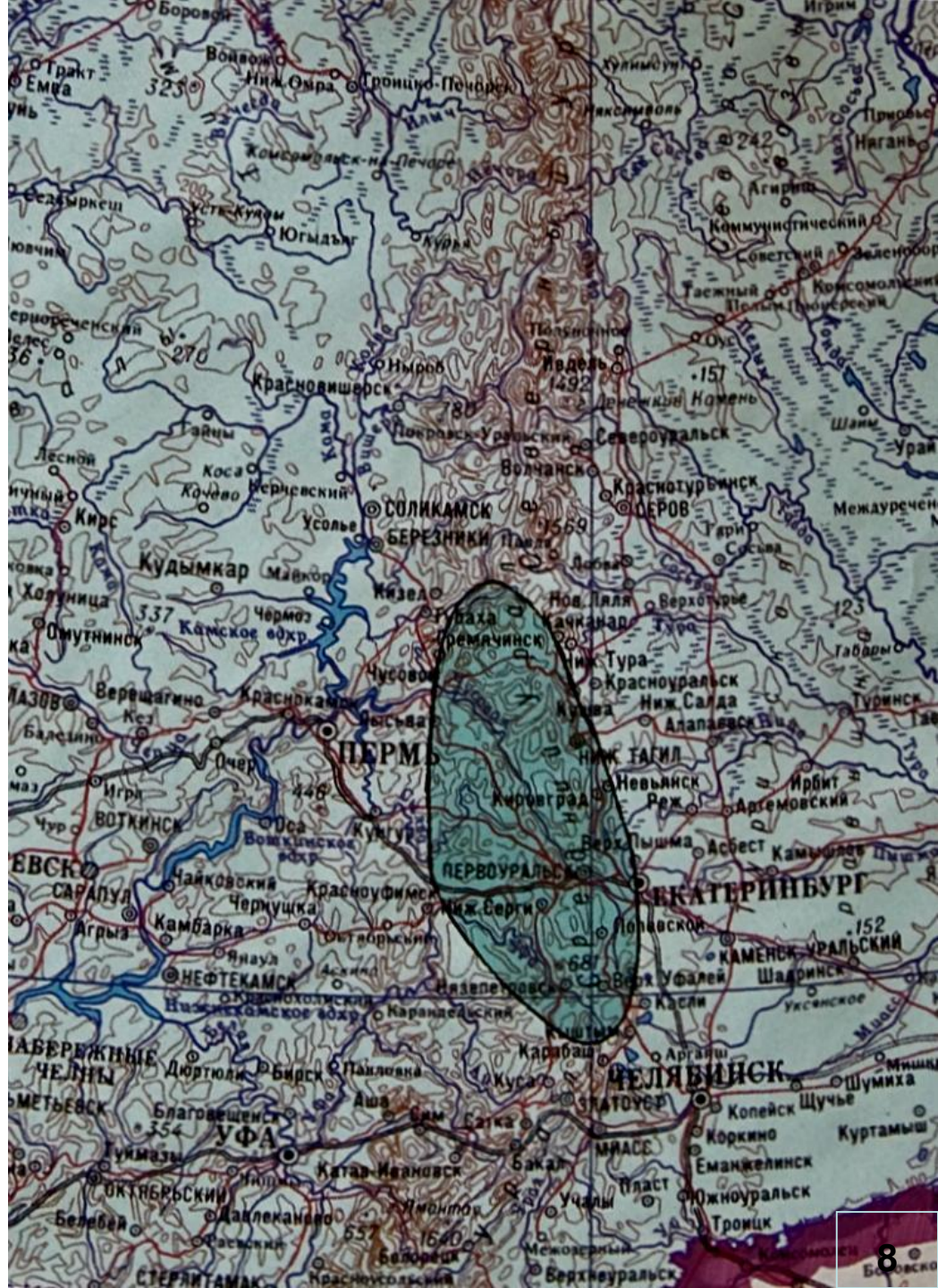
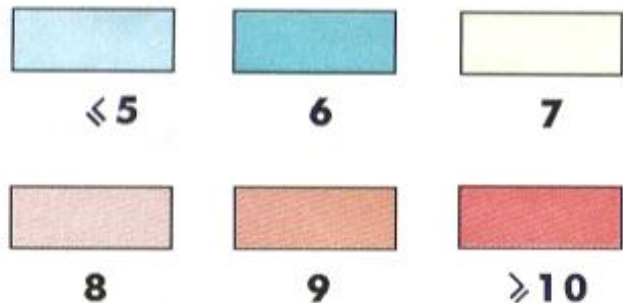
Вероятность превышения расчетной интенсивности
в течение 50 лет зоны с вероятностью 10 до 15, что соответствует
периоду повторяемости 1-3000 лет поперечности зоны сотрясений.
По границе интенсивности сотрясений в зонах с более слабыми сотрясениями.

Масштаб 1:8 007 000
© 2004 Издательство ЦИТИС

ОСР-97-А Урал

ЗОНЫ ИНТЕНСИВНОСТИ СОТРЯСЕНИЙ

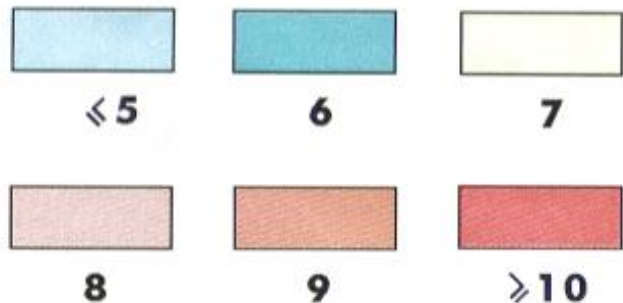
на средних грунтах
в баллах шкалы MSK-64



ОСР-97-В Урал

ЗОНЫ ИНТЕНСИВНОСТИ СОТРЯСЕНИЙ

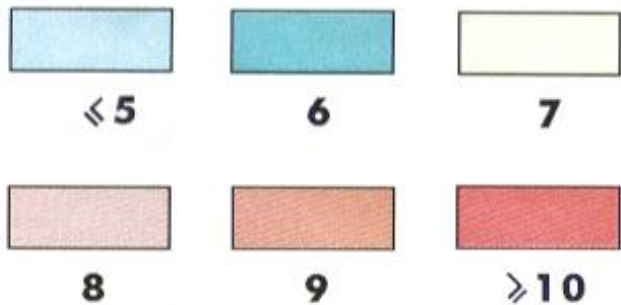
на средних грунтах
в баллах шкалы MSK-64



ОСР-97-С Урал

ЗОНЫ ИНТЕНСИВНОСТИ СОТРЯСЕНИЙ

на средних грунтах
в баллах шкалы MSK-64



Основные этапы оценки сейсмической опасности

- Моделирование зон возникновения очагов землетрясений (ВОЗ)
- Моделирование распространения сейсмического эффекта, или определение параметров уравнения макросейсмического поля (УМП)
- Вероятностный расчет интенсивности в конкретных точках пространства

Новые аспекты оценки сейсмической опасности на Урале

- Моделирование зон возникновения очагов землетрясений (ВОЗ)
 - работы по сейсмическому районированию никогда не затрагивали техногенную сейсмичность в принципе, а были ориентированы только на сильные природные тектонические очаги и остаются таковыми до настоящего времени
 - кроме зон ВОЗ существуют зоны возникновения очагов техногенных землетрясений (ВОТЗ)

Новые аспекты оценки сейсмической опасности на Урале

- Моделирование распространения сейсмического эффекта, или определение параметров уравнения макросейсмического поля (УМП)
 - фактический материал СР беден макросейсмическими проявлениями сравнительно слабой сейсмичности. А слабая сейсмичность, составляющая основную долю техногенных очагов, остается недооцененной именно на нижних уровнях сейсмической опасности (5-7 баллов), что особенно важно в районах со слабой и умеренной природной сейсмичностью

Новые аспекты оценки сейсмической опасности на Урале

- Вероятностный расчет интенсивности в конкретных точках пространства
 - техногенные очаги, обладая теми же максимальными магнитудами, что и природные ($M \leq 6$), отличаются меньшими глубинами и располагаются к районам с высокой плотностью населения гораздо чаще, чем природные, при этом вероятность повторения максимальных сотрясений от техногенных очагов выше в виду прямого воздействия человека на среду, но ограничена во времени
 - некоторые типы техногенных очагов (обвалы), наоборот, тяготеют к единичным проявлениям

Моделирование зон ВОТЗ

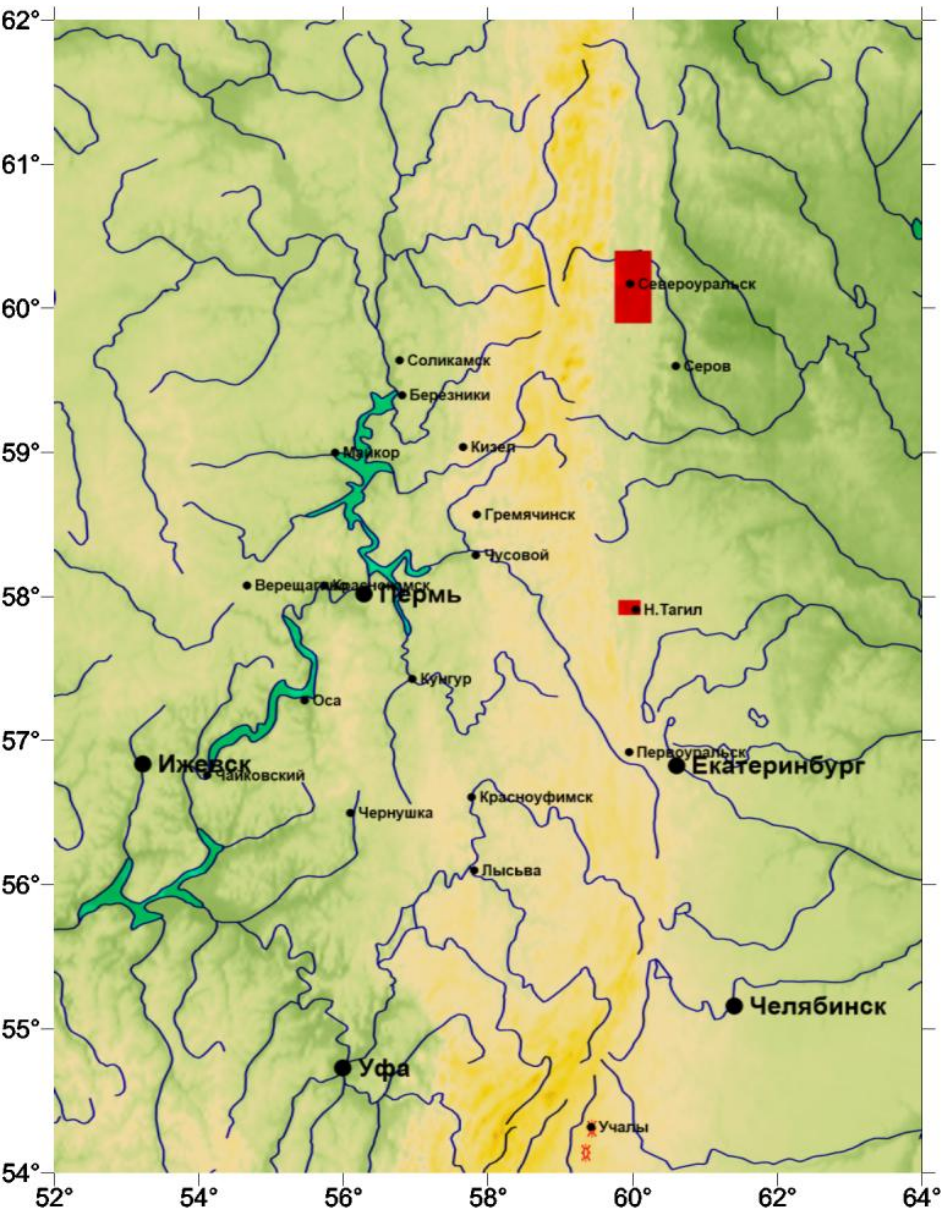
Виды хозяйственной деятельности, приводящей к возникновению техногенной сейсмичности

- разработке месторождений твердых полезных ископаемых подземным и открытым способами;
- некомпенсированная откачка нефти и газа;
- строительство крупных гидротехнических сооружений;
- захоронение промышленных отходов;
- строительство подземных хранилищ газа.

Причины возникновения техногенной сейсмичности и роста связанной с ней сейсмической опасности:

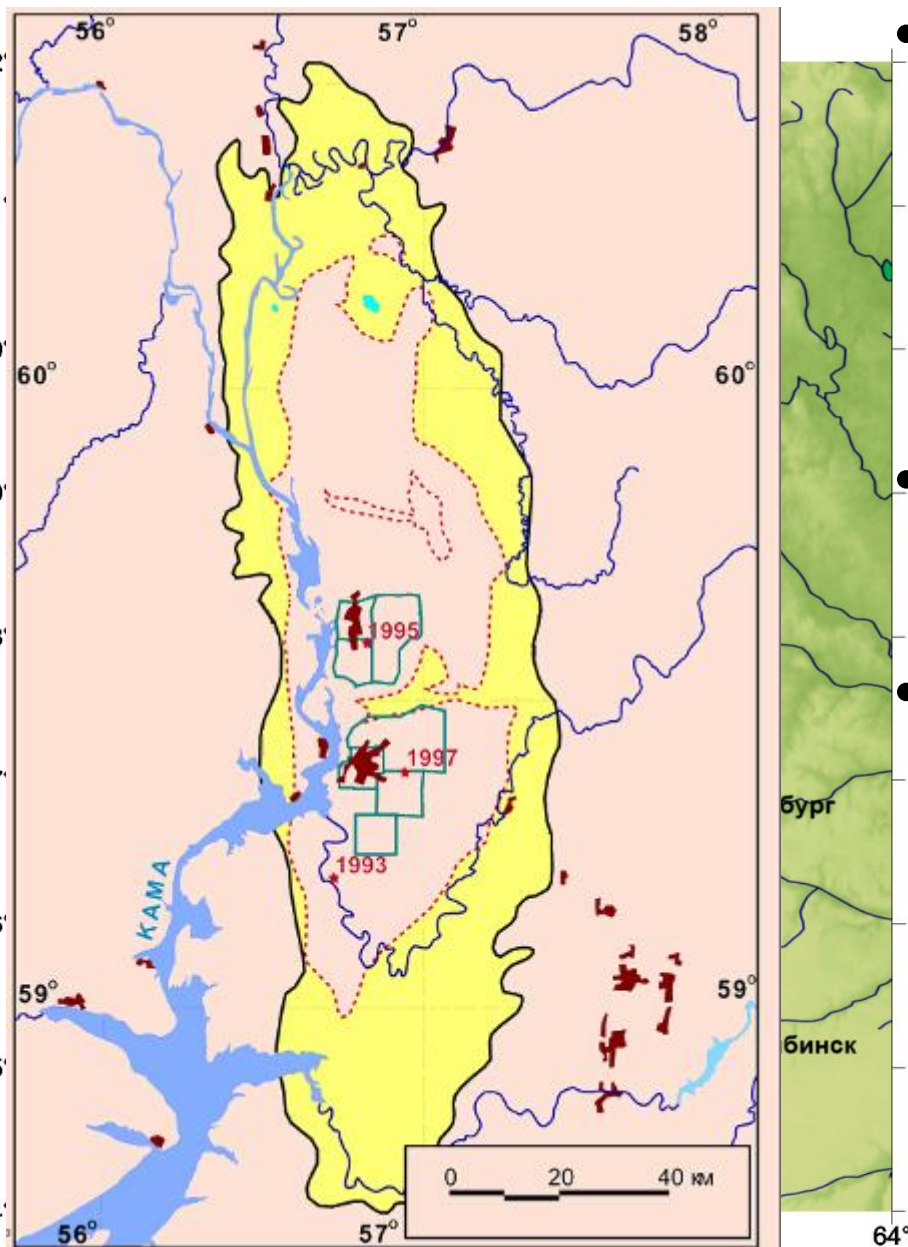
- перераспределение напряжений в измененном массиве (тектонические подвижки);
- извлечение больших объемов пород и создание подработанных пространств (обвалы, обрушения);
- прямое сейсмическое воздействие (удары, взрывы).

Зоны ВОТЗ, генерирующие горно-тектонические удары



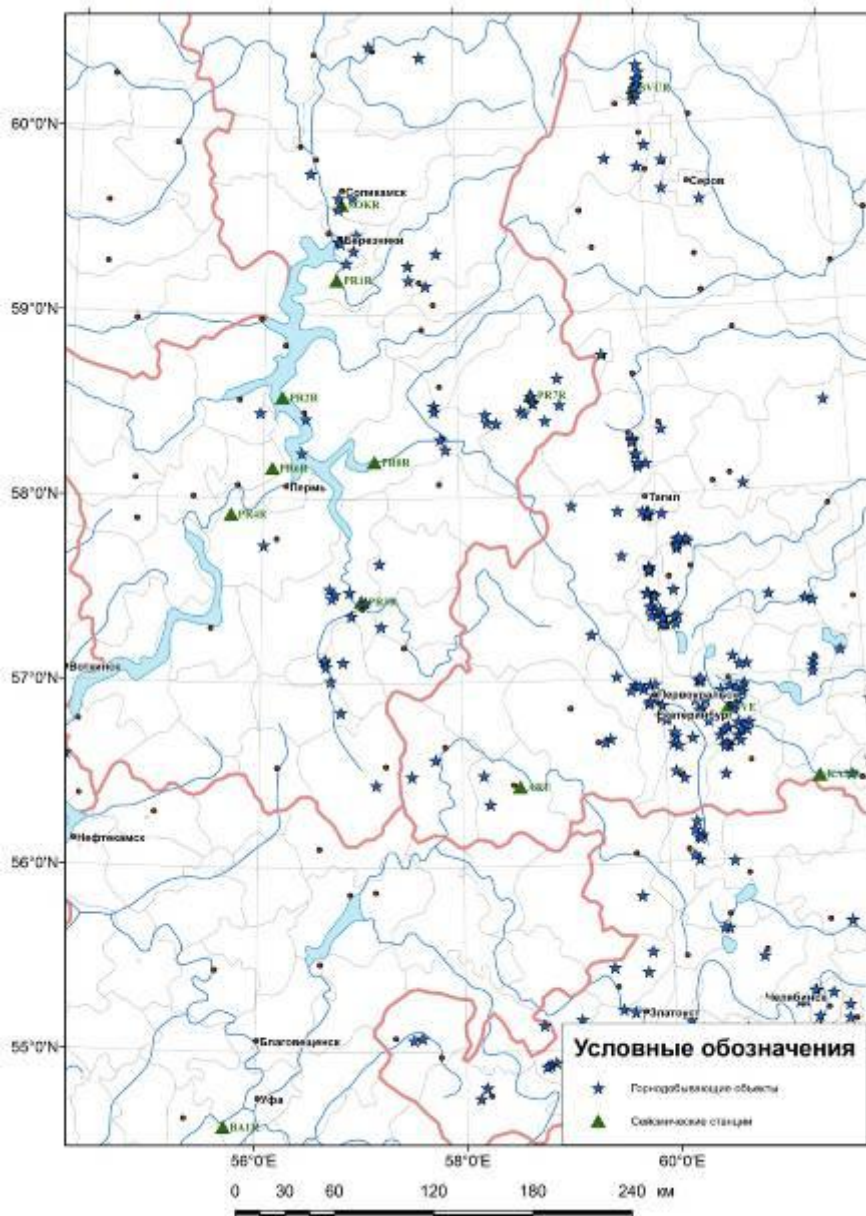
- действующие:
 - ш. Красная Шапочка, №16, Кальинская, Новокальинская, Черемуховская (г.Североуральск)
 - ш.Естюнинская и Магнетитовая (г.Н.Тагил)
 - Учалинский карьер (г.Учалы)
- неактивные:
 - ш.Ленинская, Северная (г.Кизел)
 - ш.Кургазакская (г.Сатка)

Зоны ВОТЗ, генерирующие обвалы и обрушения



- **действующие:**
 - СКРУ-1, СКРУ-2, СКРУ-3 (г.Соликамск)
 - БКПРУ-1, БКПРУ-2, БКПРУ-4 (г.Березники)
- **неактивные:**
 - БКПРУ-3 (г.Березники)
- **новые (2018-2050 гг):**
 - Балахонцевская, Усть-Яйвинская (г.Березники)
 - Талицкая (г.Соликамск)
 - Половодовская
 - Боровская

Зоны ВОТЗ, генерирующие взрывы

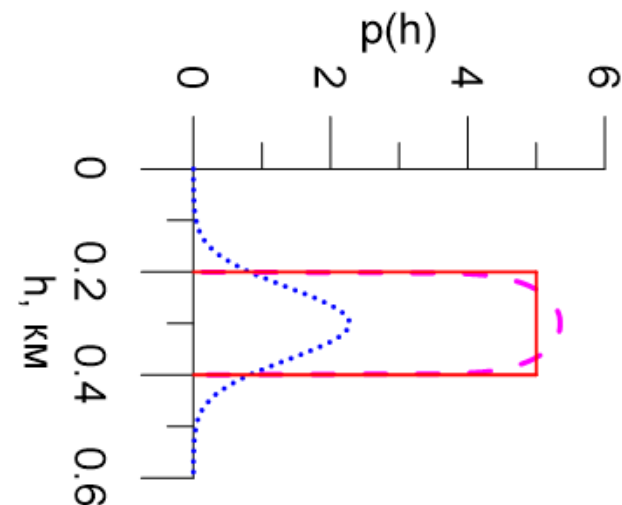
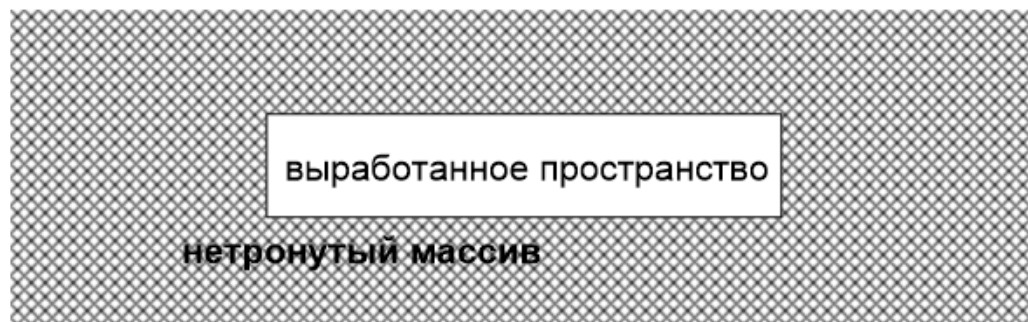
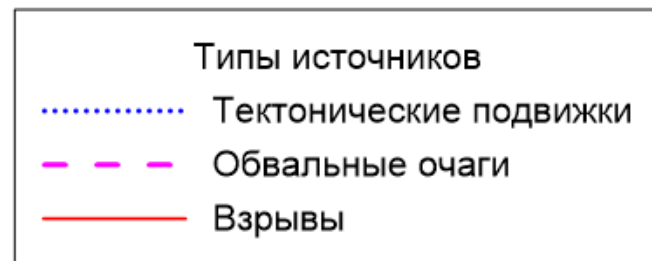
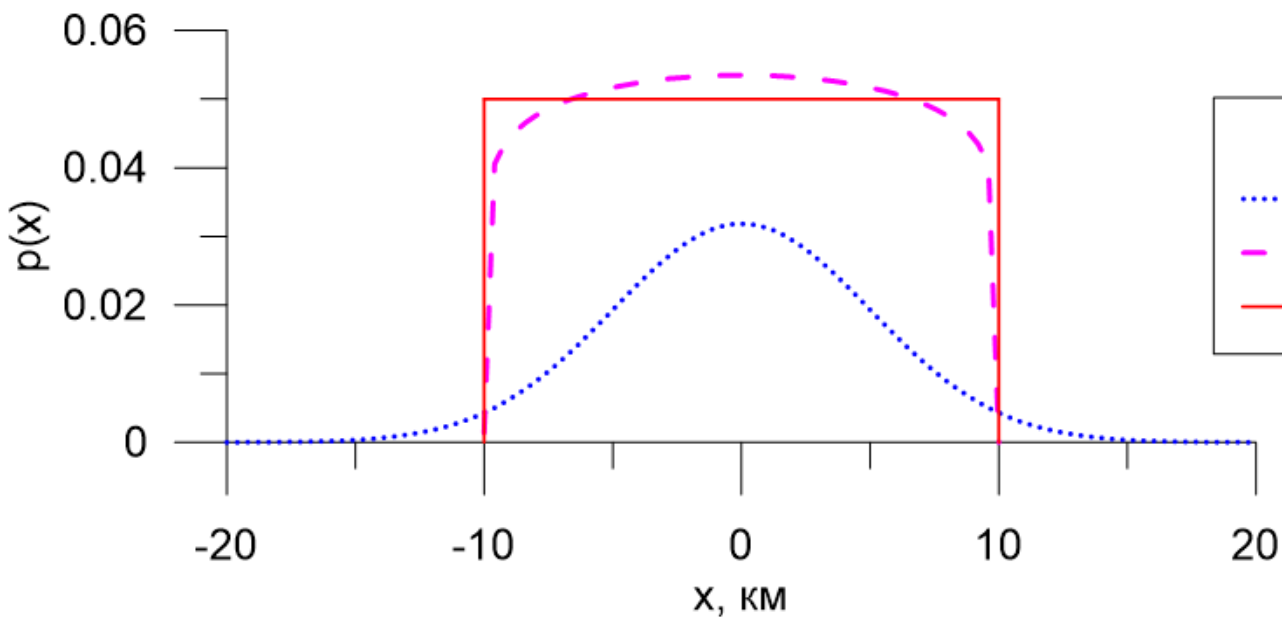


- **действующие:**
 - 104 карьера
 - 26 шахт и рудников
 - 3 военных полигона
(Свердловская, Челябинская обл., Пермский край и Респ.Башкортостан)
- **неактивные:**
 - 25 карьеров
 - 4 шахты и рудника

Общие особенности проявления техногенной сейсмичности

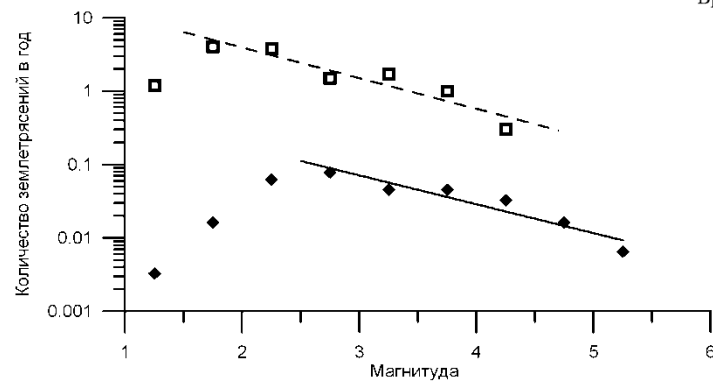
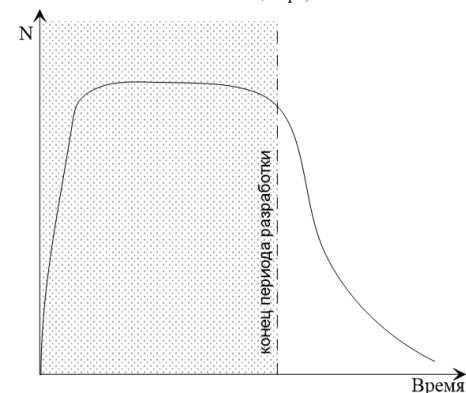
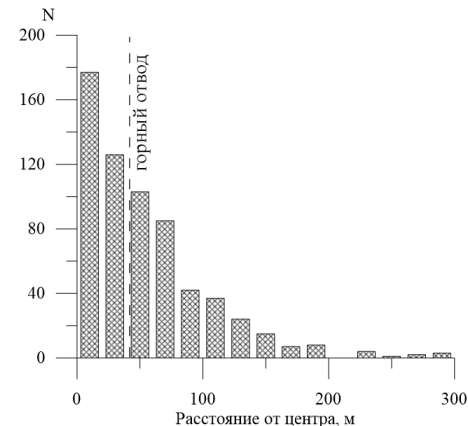
- В пространстве гипоцентры тяготеют к горным выработкам, положение которых известно заранее
- Во времени проявляется лишь тогда, когда продолжается разработка месторождения; после разработки постепенно затухает или прекращается совсем
- Сейсмический режим имеет значительное сходство с режимом природной сейсмичности (подвижки, обвалы) или известен заранее (взрывы)

Модель зоны ВОТЗ (пространственное распределение очагов)



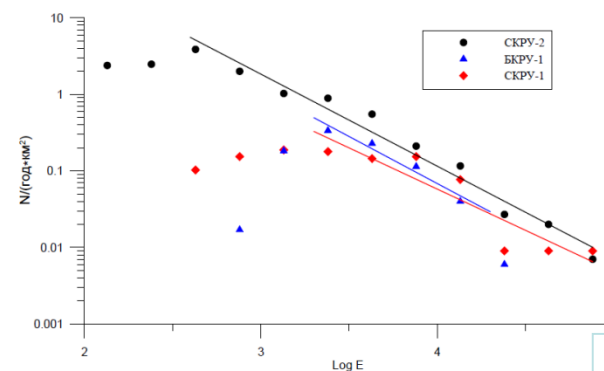
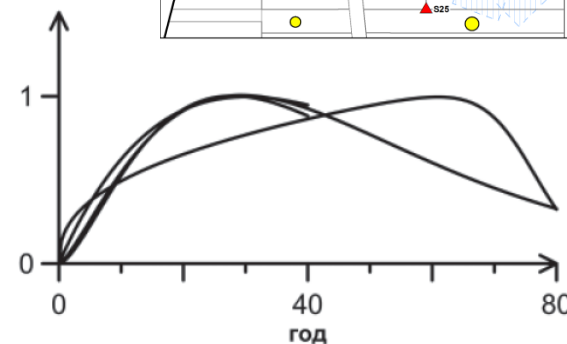
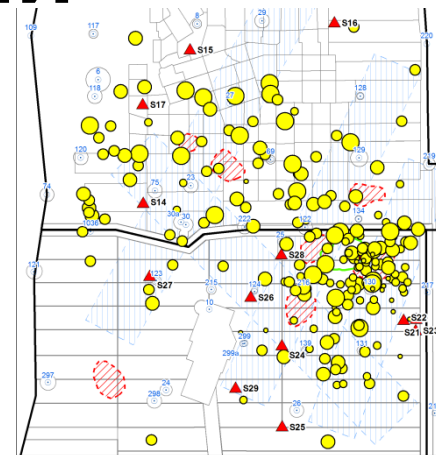
Особенности зон ВОТЗ для тектонических подвижек

- В пространстве гипоцентры имеют распределение, близкое к нормальному относительно центра горного отвода
- Во времени сейсмичность начинает проявляться с началом разработки, прекращается (становится неразличимой с фоном) спустя некоторый интервал после закрытия
- Повторяемость подчиняется закону Гутенберга-Рихтера



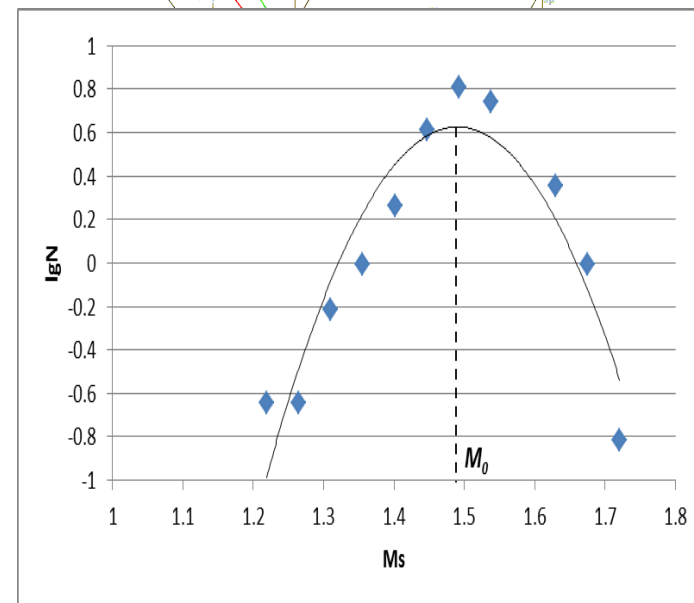
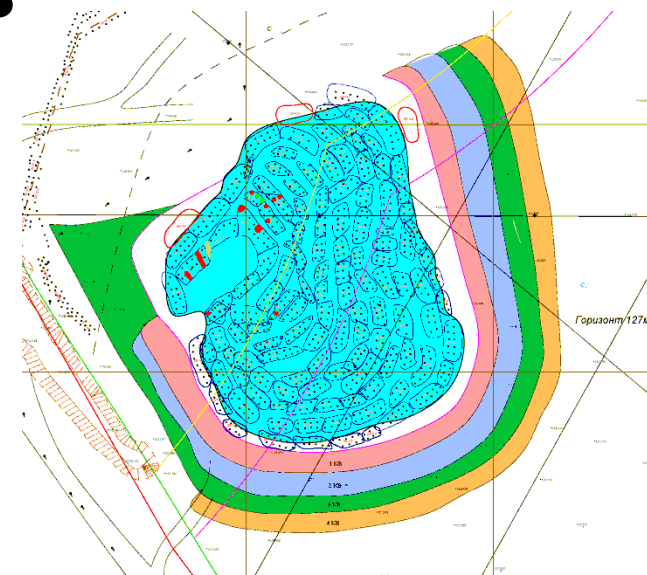
Особенности зон ВОТЗ для обвальных событий

- В пространстве гипоцентры имеют распределение, близкое к равномерному в пределах горного отвода
- Во времени сейсмичность начинает проявляться спустя несколько лет после начала разработки, прекращается (становится неразличимой с фоном) спустя некоторый интервал после закрытия
- Повторяемость подчиняется закону Гутенберга-Рихтера



Особенности зон ВОТЗ для ВЗРЫВОВ

- В пространстве гипоцентры имеют равномерное распределение в пределах горного отвода
- Во времени сейсмичность проявляется только в период разработки
- Повторяемость подчиняется нормальному распределению относительно центральной (средней) магнитуды, зависящей от параметров БВР



Основные параметры зон ВОТЗ, необходимые для генерализованного описания принадлежащей им сейсмичности

- Пространственные границы зоны
- Максимальная глубина очагов, h_{max}
- Максимальная магнитуда очагов, M_{max}
- Параметры закона повторяемости
 - для тектонических подвижек и обрушений:
 A_0 – сейсмическая активность
 b – наклон графика повторяемости
 - для взрывов:
 M_{av} – средняя магнитуда
 σM – стандартное отклонение магнитуды
 N – среднегодовое количество взрывов
- Временные рамки существования зоны:
 T_1 – год начала
 T_2 – год конца

Связь магнитуды M с линейными размерами очага L

- **Тектонические подвижки:**
 - $\lg(L) = 0.244 \lg(E) - 2.266$ (Ризниченко, 1976, 1985)
($5 \leq \lg(E) \leq 19$)
 $M_s = 2.27 \lg(L) + 2.93$
($0.5 \leq M_s \leq 8.5$)
 - $M_s = 3 \lg(L) + 2.619$ (Chen and Chen, 1989)
($M_s \leq 6.4$)
- **Обвальные землетрясения:**
 - ???

Связь магнитуды M с линейными размерами очага L (обвальные события)



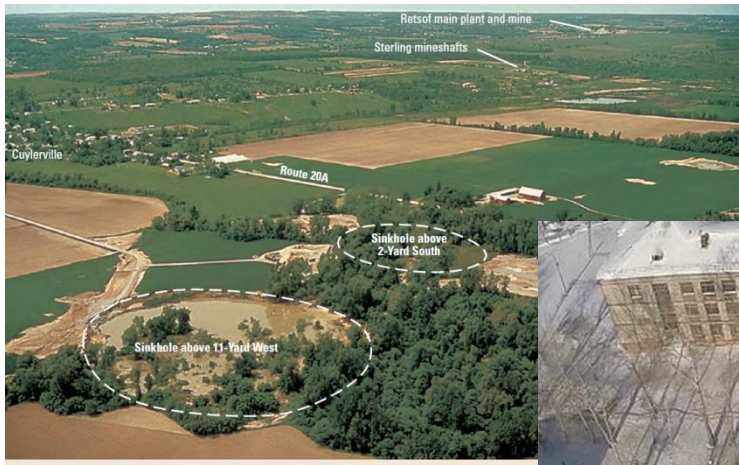
$$M \sim \lg(E) \sim \lg(mg\Delta H) \sim \lg(L^2 H) + \lg\left(\rho \frac{\pi}{4} g\Delta H\right)$$

обрушение происходит при достижении критического порога $k = \frac{H}{L} \approx const$

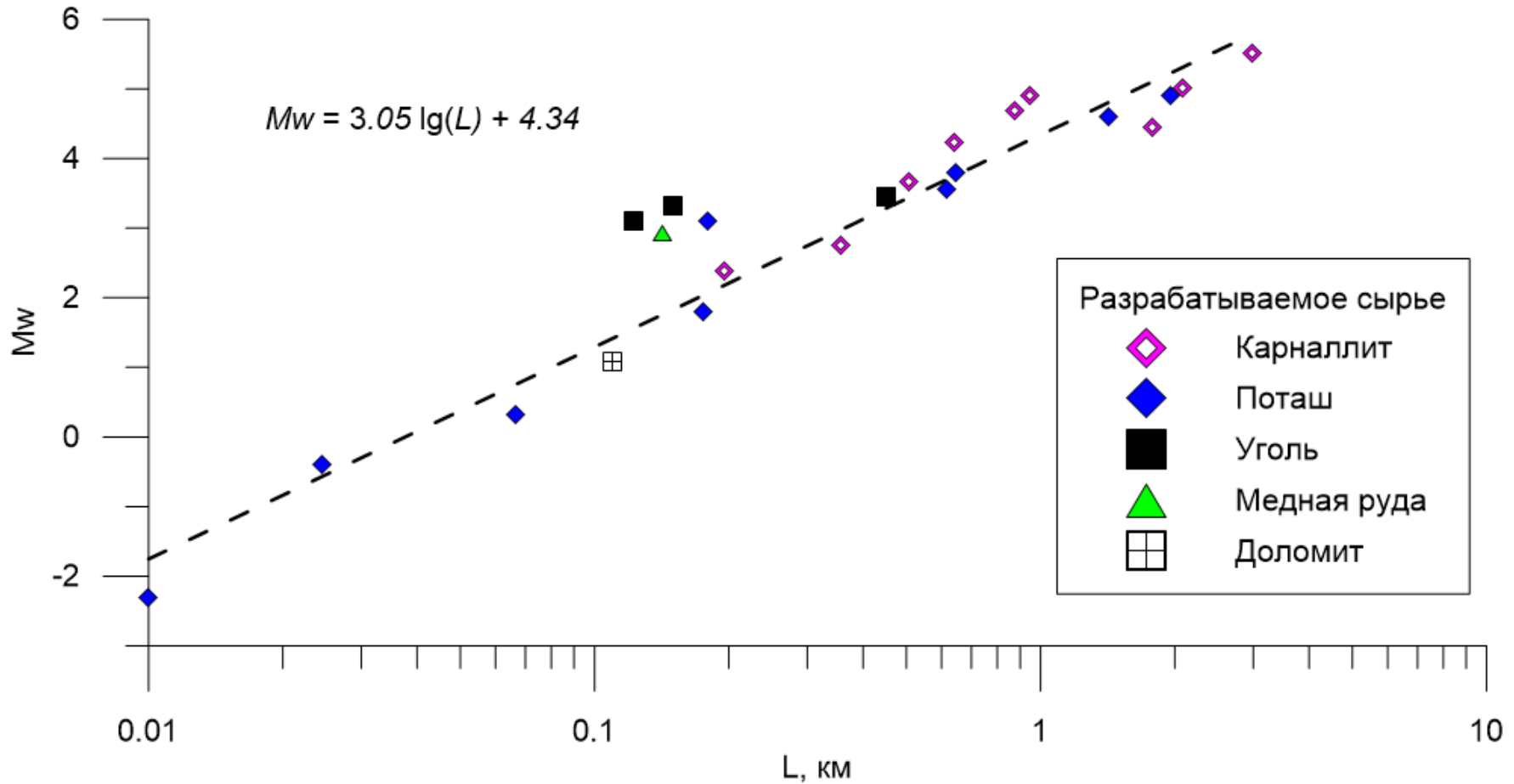
ρ и ΔH – маловариативные переменные ($\sim const$)

$$M \sim 3 \lg(L) + const$$

Фактический материал: 23 события (Германия, Австрия, США, Россия и др.)

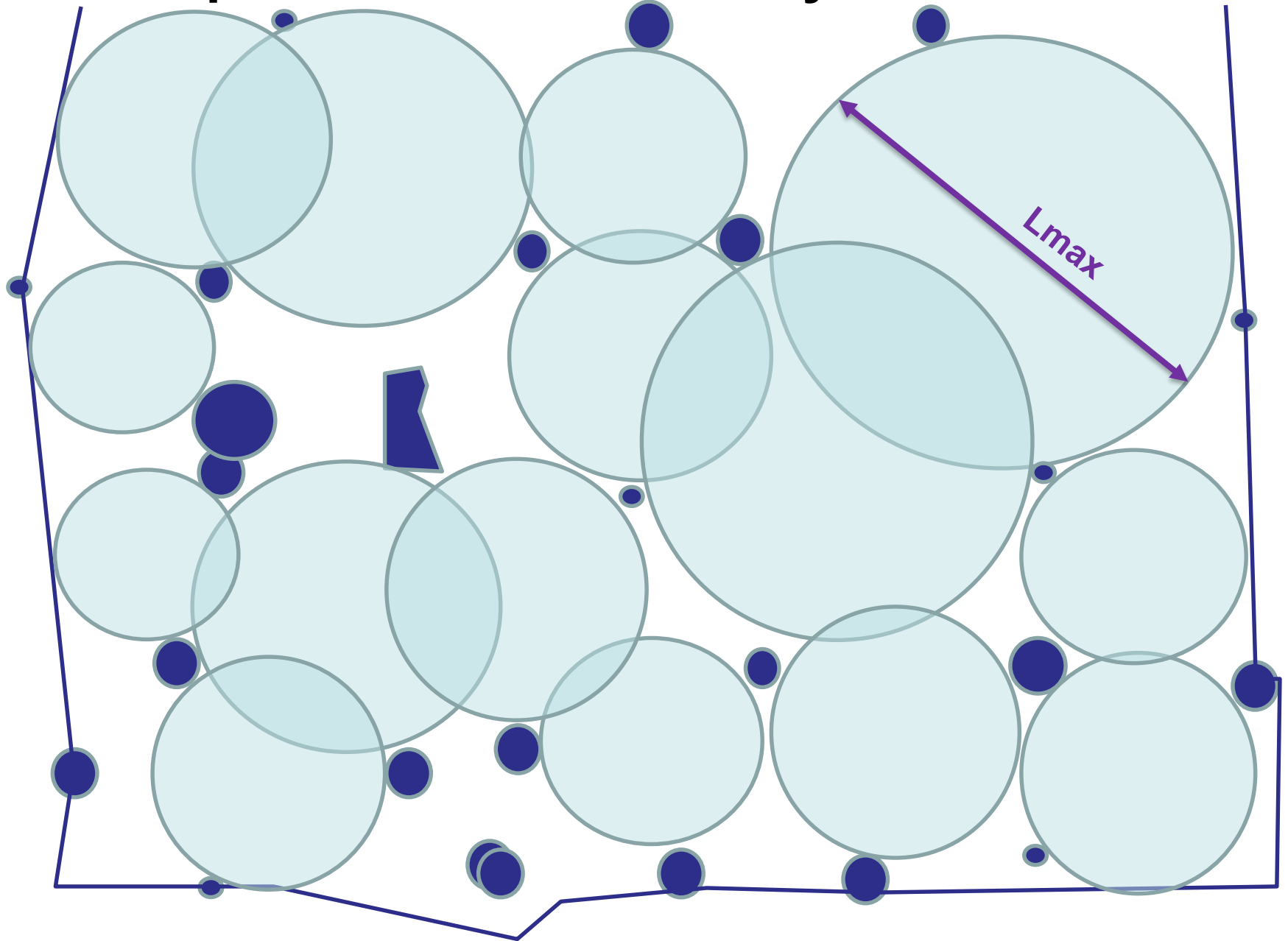


Связь магнитуды M с линейными размерами очага L (обвальные события)



- $-2.0 \leq M_w \leq 5.5$

Определение M_{max} для участков ВКМКС



Параметры сейсмического режима для зон ВОТЗ с тектоническими очагами

<i>Месторождение</i>	<i>A0</i>	<i>b</i>	<i>S, км²</i>	<i>H, км</i>	<i>Mmax</i>	<i>Tнач, год</i>	<i>Tmax, лет</i>
СУБР	2.14	0.75	1533	1	5.5	1934	170
Шахты Н.Тагила	1.27	0.75	196	1	5.5	1950	150
Учалинский карьер			3	1	3.0	1968	60
Ярино-Каменоложское нефтяное месторождение	0.7	0.4	88	2	2.0	1955	70

Примечание: ¹ – средние параметры; ² – точный срок ввода в эксплуатацию не известен

Параметры сейсмического режима для зон ВОТЗ с обвальными очагами

<i>Участок ВКМКС</i>	<i>A0</i>	<i>b</i>	<i>S, км²</i>	<i>S_{max}, км²</i>	<i>M_{max}</i>	<i>T_{нач}, год</i>	<i>ΔT, лет</i>
Березниковский (БКПРУ-1)	0.7	0.15	162.5	3.0	5.0	1944	63
Дурьманский (БКПРУ-2)	0.7	0.25	198.7	3.7	5.1	1969	48
Балахонцевский (БКПРУ-3)	0.7 ¹	0.34 ¹	63.18	5.8 ¹	5.4 ¹	1973	14
Балахонцевский (Еврохим)	0.7 ¹	0.34 ¹	30	6.5	5.4	2018 ²	10
Быгельско-Троицкий (БКПРУ-4)	0.7	0	246.5	11.1	5.8	1987	62
Соликамский (СКРУ-1)	0.7	0.52	51	3.8	5.1	1943	84
Соликамский (СКРУ-2)	0.7	0.52	93	7.7	5.5	1973	64
Ново-Соликамский (СКРУ-3)	0.7	0.62	163.2	8.4	5.6	1983	108
Половодовский	0.7 ¹	0.34 ¹	208.3	6.0	5.4	2018 ²	150
Палашерский	0.7 ¹	0.34 ¹	61.7	6.5	5.4	2018 ²	55
Усть-Яйвинский	0.7 ¹	0.34 ¹	71	5.8 ¹	5.4 ¹	2018	60
Талицкий	0.7 ¹	0.34 ¹	63.9	5.6	5.4	2018 ²	30
Боровской	0.7 ¹	0.34 ¹	136.9	5.8 ¹	5.4 ¹	2050 ²	95

Примечание: ¹ – средние параметры; ² – точный срок ввода в эксплуатацию не известен

Параметры сейсмического режима для зон ВОЗ с очагами-взрывами (карьеры)

Карьер	Mmin	Mmax	Mav	σM	N, год ⁻¹	Tmin	Tmax
Александровский карьер	0.5	0.7	0.6	0.1	3.4	2008	2100
Карьер Белый камень	1.3	1.6	1.5	0.1	4.4	1959	2059
Вижайская дайка габбро-диабазов	1.2	1.6	1.4	0.2	3.3	2007	2064
Дейковское месторождение	1.1	1.3	1.2	0.1	6.3	2007	2066
Заготовкинское месторождение	1.2	1.7	1.5	0.2	8.6	2001	2100
Ивакинский карьер	1.3	1.7	1.5	0.2	17.6	1998	2100
Истяковский карьер	1.7	2.1	1.9	0.2	3.5	2000	2100
к.глин. сланца ОАО "Горнозаводскцемент"	1.6	2	1.8	0.2	5.3	1972	2157
к.известняка ОАО "Горнозаводскцемент"	1.4	2	1.7	0.3	12.6	1955	2104
Луньевский каменный карьер	1.2	1.7	1.5	0.2	6.3	1964	2059
Пашийский карьер	1.6	2	1.8	0.2	2.0	1971	2020
Северо-Шарашинский карьер	0.6	0.8	0.7	0.1	1.5	1999	2011
Соколино-Саркаевское месторождение	1.4	2	1.7	0.3	14.9	1989	2066
Теплогорский карьер	1	1.6	1.3	0.3	4.3	1987	2067
Утесовский карьер	1.3	1.9	1.6	0.3	10.1	1932	2025
Филипповский карьер	1.2	1.5	1.4	0.1	2.3	1936	2100
Чаньвинский карьер	1.1	2.3	1.9	0.3	31.6	1998	2066
Чумкацкий карьер	1	1.5	1.3	0.2	6.2	1988	2031
Шубинское месторождение	1.4	1.8	1.6	0.2	15.5	2006	2066
Южно-Сарановский хром	1.1	1.5	1.3	0.2	3.4	2000	2045

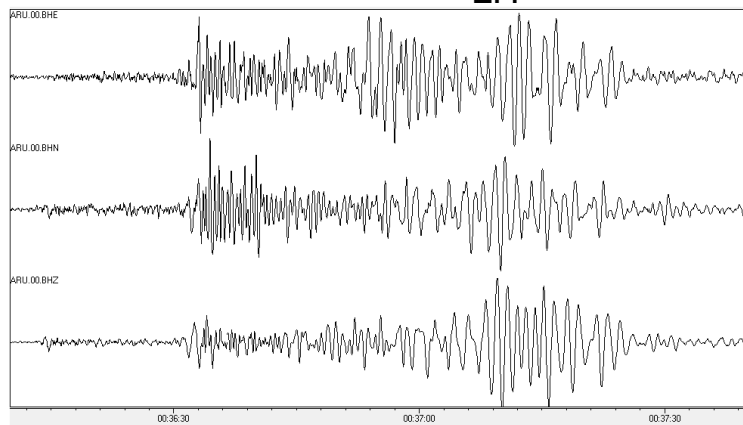
Моделирование распространения сейсмического эффекта

Современные землетрясения Урала

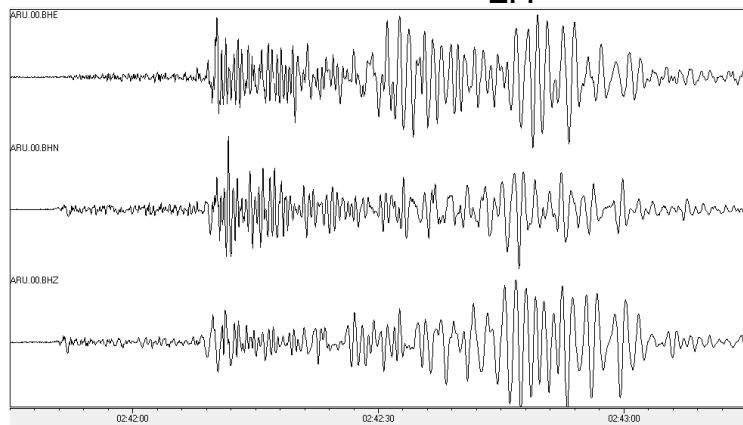
Дата и время UTC	Широта	Долгота	Н, км	М	IO	Населенный пункт	N
1990.05.28 00:35:50	55.14	58.73	0.4	3.1 M _{LH}	7	Межевой (ЮУБР)	1
1990.05.28 14:37:20	55.14	58.73	0.4	4.2 M _{LH}	7	Межевой (ЮУБР)	1
1993.10.25 13:31:04	59.21	56.71	4	2.9 M _{LH}	4-5	Березники	10
1995.01.05 12:46:02	59.59	56.80	0.3	3.8 Ms	5	Соликамск (СКРУ-2)	20
1997.10.07 20:57:33	59.36	56.93	0.3	3.1 M _{LH}	5	Березники	7
2004.03.25 15:01:42	60.16	59.96	1	3.1 MI	3-4	Североуральск (СУБР)	1
2007.04.27 20:29:16	57.70	59.29	1	3.1 MI	3-4	Н.Тагил (ш.Естюнинская)	1
2008.12.16 17:04:47	57.91	55.48	20	2.8 MI	2	Нытва	1
2008.12.26 08:25:35	57.31	55.45	0	1.8 MI	4	Оса	1
2009.10.01 16:21:46	57.96	59.80	1	2.0 MI	3	Н.Тагил (ш.Естюнинская)	1
2010.02.13 03:43:54	60.21	60.06	1	4.2 MI	4	Североуральск (СУБР)	10
2010.03.29 03:02:18	58.86	59.16	21	4.4 MI	5	Качканар	16
2011.03.11 23:15:07	53.15	55.87	10	3.8 MI	4-5	Мелеуз	9
2012.09.05 20:11:03	54.31	59.43	0.5	3.4 MI	5	Учалы (УГОК)	35
2013.12.14 14:57:24	60.23	60.01	1	3.5 MI	4-5	Североуральск (СУБР)	9
2014.05.20 18:26:19	54.583	55.706	4	2.8 MI	5-6	Уфа, Кляшево (м-ние нефти)	17
2015.08.11 03:36:42	57.99	59.58	0.5	1.7 MI	2-3	Н.Тагил (ш.Естюнинская)	54
2015.10.18 21:44:55	57.12	59.05	12	4.7 MI	5	Сабик	54
2016.11.09 04:14:59	60.24	60.00	1	3.0 MI	4-5	Калья (СУБР)	3

Горно-Тектонические Удары в ш.Кургазакская (ЮУБР) 28.05.1990*

- 00:35:50, $M_{LH}=4.2$



- 02:41:27, $M_{LH}=4.4$



"В результате ударов разрушены целики, в отдельных местах наблюдались динамические нарушения почвы высотой до 0,7 м". "Площадь обрушения составила около 0,45 км². Форма ее эллипсовидная, меньшая ось совпадает с направлением σ_{max} . Небольшая мощность пород между выработанным пространством и породами Пашийской свиты способствовала их разрушению под действием горизонтальных тектонических напряжений. В некоторых местах, вблизи зоны разрушений, наблюдалось вспучивание пород почвы и, по образному мнению очевидцев, "создавалось впечатление ходьбы по жесткой мембране в замкнутом пространстве". При втором ударе резко сократился объем выработанного пространства, в результате чего произошло опрокидывание воздушной струи. В капитальных выработках при этом вместе с воздушной струей, по рассказам горняков, летели обломки досок. На поверхности одна стена вентиляционного ствола, представленная кирпичной кладкой в полтора кирпича и служащая защитой от пыли, обрушилась (ствол расположен в 300-400 м от очага). Это единственное видимое разрушение на поверхности. В административно-бытовом здании шахты, расположенном еще ближе к очагу и в 60 м от упомянутого ствола, отмечена единственная трещина в штукатурке. Поэтому интенсивность этих ударов около 5 баллов. В самом же очаге имели место сильные разрушения целиков, заколы, пучение и разломы почвы, обрушения кровли в выработанном пространстве и на отдельных участках капитальных выработок".

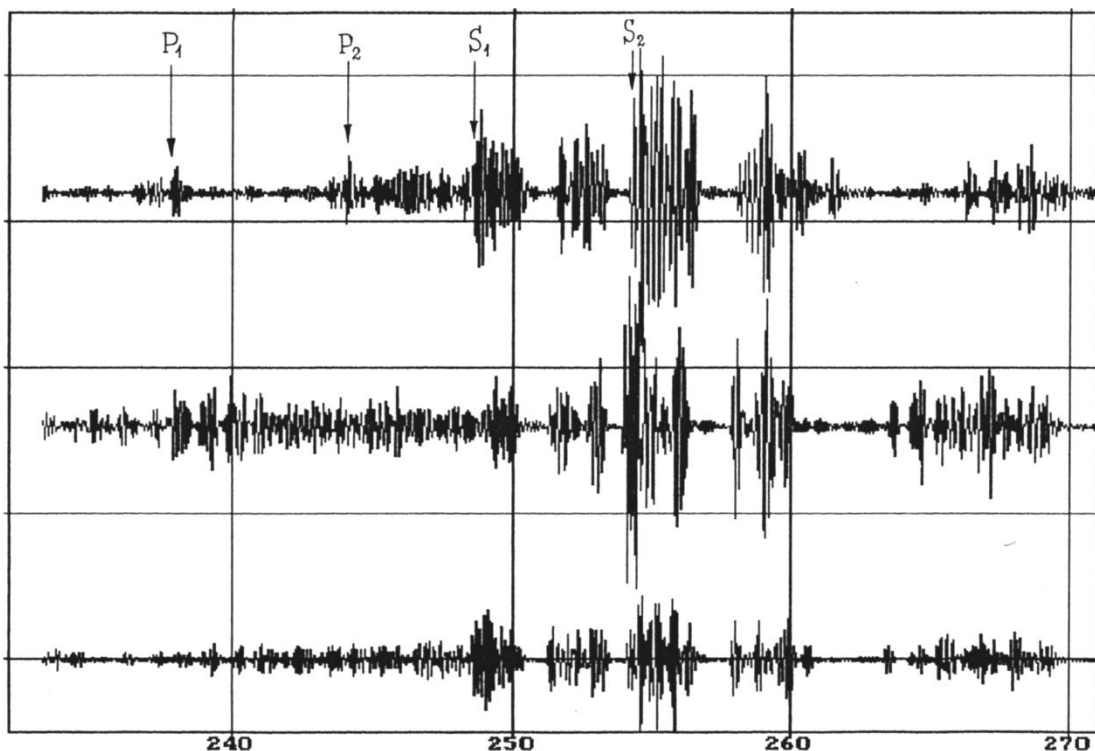
• Сейсмические события Уральского региона за 1914-2

• БАТУГИН А.С., БАТУГИНА И.М. Горный информационно-аналитический бюллетень. 2011, том 1. С.338-346.

Березниковское землетрясение

25.10.1993, $M_{LH}=2.9$ *

Макросейсмические данные*



Профилакторий АО "Уралкалий": все, находившиеся в профилактории (отдыхающие и медперсонал), почувствовали толчок. Здание как бы толкнуло вперед и обратно вдоль длинной оси. Стены "ходили" около минуты. Кое-где осыпалась висевшая на потолке известь. В ванной комнате с потолка упала штукатурка. Появились крошки краски на подоконнике. Расширились трещины в штукатурке между стенами и потолком; качнулись перегородки в процедурных кабинетах; кое-где упали торшеры. Одну женщину, сидевшую на кровати, толкнуло и приподняло; люстры, висевшие на крючках, не качались. Все это сопровождалось звуком, как будто упало что-то тяжелое.

БКРУ-2 (административный корпус): толчок ощутили диспетчер и люди, находившиеся в сушилке, сидевшие на скамье закачались.

БКРУ-2 (рудник): глухой удар почувствовали на 9-й западной панели.

БКРУ-3: у диспетчера качнулся компьютер.

Детские дачи: закачалась и попала посуда.

Взрывсклад: ощутили сильный толчок.

г. Березники: в здании по ул. Мира 100, 9-й этаж, поехало кресло, в аквариуме длиной 0,5 м зашуршали камешки, вода у края поднялась на 3 см;

по ул. Мира 62, 6-й этаж, белье, висевшее в квартире на веревках параллельно ул. Мира, колебалось с амплитудой 10 см;

в здании по ул. Пятилетки 99, 3-й этаж, толчок не ощущался.

д. Вогулка: работница НГДУ, живущая в собственном доме, ощутила, что как будто по улице прошел тяжелый трактор.

Агрофирма "Урал": директор утром 26 октября заметил, что в конторе с потолка осыпалась штукатурка.

Провальная впадина на шахтном поле БКРУ-3: по результатам обследования 26 октября впадины Н. В. Кузнецовым и О. В. Казакевичем (главный маркшейдер АО "Уралкалий"), трещин на льду нет, отсутствуют осипы камешков на лед, нет трещин на земной поверхности.

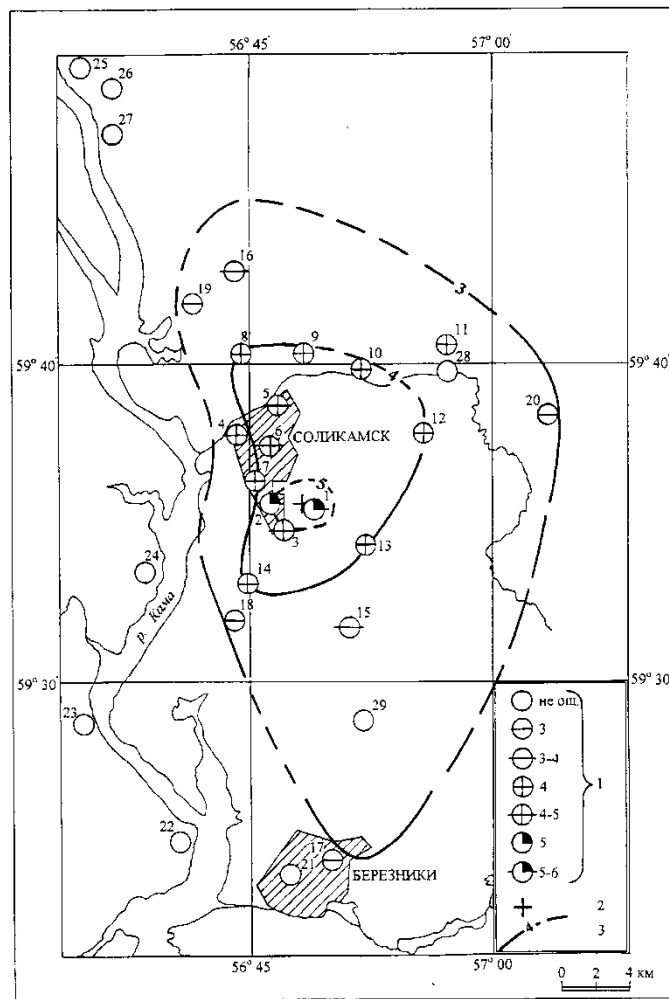
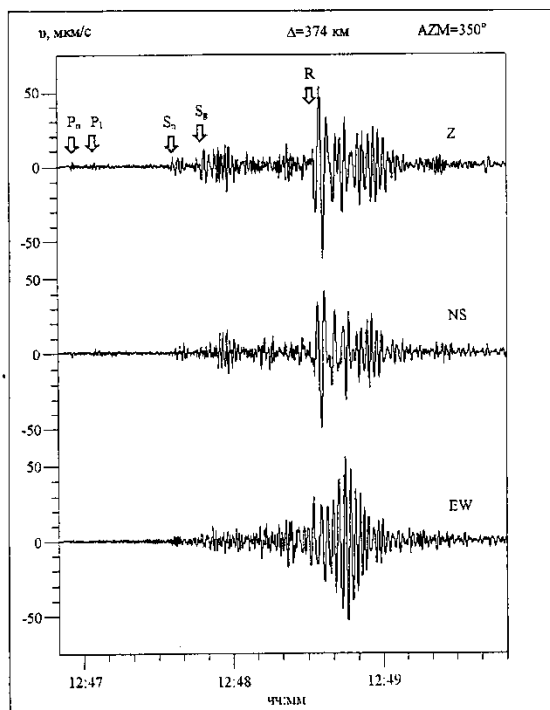
д. Уньва и Дурино: операторы, работавшие на буровых установках, толчка не ощутили.

Приведенные данные позволяют произвести макросейсмическую оценку интенсивности землетрясения в соответствии со шкалой сейсмической интенсивности MSK-64 [3]. Согласно критериям этой шкалы, толчки, зафиксированные в профилактории, на БКРУ-2, детских дачах и БКРУ-3, соответствуют интенсивности 4 балла. Колебания в районе

*Данные собраны и любезно предоставлены главным геологом АО "Уралкалий" Н. В. Кузнецовым.

Соликамское землетрясение

5.01.1995, $M_s = 3.8$ *

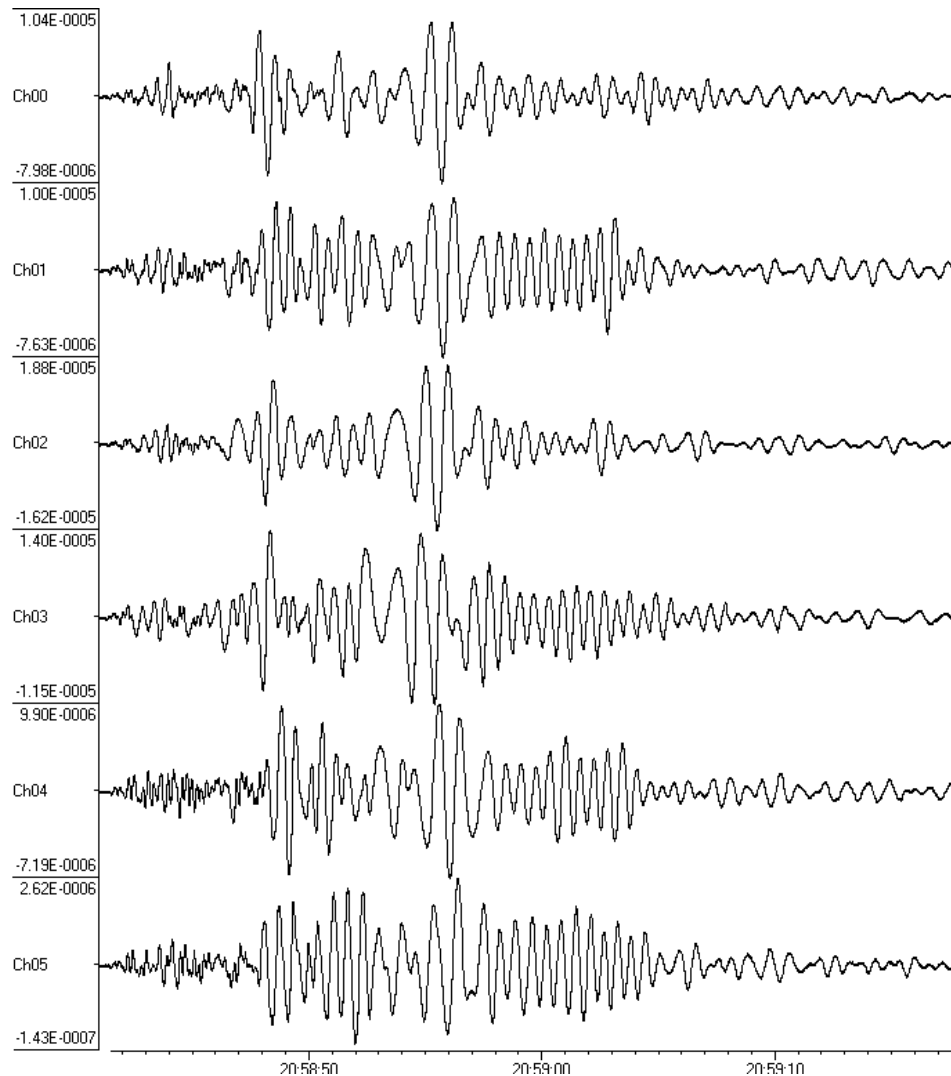


№	Пункт	Δ, км
5-6 баллов		
1	Садоводческий кооператив "Ключики"	0.5
2	Микрорайон Совхоз	2.0
4-5 баллов		
3	Дер. Попово	2.0
4	Микрорайон Красное	5.5
5	Микрорайон пос. Калиец	6.0
6	3-ий микрорайон	4.0
4 балла		
7	Микрорайон Давыдово	3.0
8	Нефтебаза (Боровск)	9.5
9	Микрорайон Клестовка	8.5
10	Городище	8.5
11	Пос. Черная	12.5
12	Управление рудника СКРУ-3	8.0
13	Аэропорт	4.0
14	Пос. Родники	5.5
3-4 балла		
15	Совхоз «Усовский»	7.5
16	Дер. Тохтуево	14.5
3 балла		
17	Березники (восточная часть)	21.0
18	Чашкино	8.0
19	Боровск	13.5
20	Половодово	15.0
Толчки не ощущались		
21	Березники (западная часть)	22.0
22	Усолье	21.0
23	Пыскор	18.0
24	Лысьва	9.5
25	Пос. Верх. Мошево	29.0
26	Дер. Левино и Затон	27.0
27	Пос. Ниж. Мошево	24.5
28	Дер. Хорюшино	11.5
29	Пос. Дурино	13.0

* Маловичко А.А., Маловичко Д.А., Кустов А.К. СОЛИКАМСКОЕ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЕ 5 ЯНВАРЯ 1995 ГОДА. ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ СЕВЕРНОЙ ЕВРАЗИИ в 1995 году. М.: 2001. С. 163-169.

Березниковское Землетрясение

7.10.1997, $M_{LH} = 3.1$



Газета "Звезда" от 9.10.1997

НОВОСТИ

ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЕ В БЕРЕЗНИКАХ

Вчера в районе Березников произошло землетрясение силой в 4 балла.

Подземные толчки зафиксировал Соликамский сейсмологический пост, находящийся под землей, в шахте. Ориентировочно эпицентр землетрясения находился в районе 2-го и 3-го калийных рудоуправлений.

По-разному отреагировали на разбушевавшуюся стихию березниковцы. Ночью, в 2 часа 57 минут, одна горожанка, проживающая в южной части улицы Пятилетки, позвонила в городское управление по делам гражданской обороны и чрезвычайным ситуациям, сообщив, что все в ее квартире странно ведет себя: диван и кровать гремят, пытаются двигаться. Чуть позже, в 3.05, по словам начальника штаба ГО и ЧС второго рудоуправления «Уралкалий» Бориса Анкушина, жительница поселка Круглый Рудник обнаружила, что она вместе с кроватью съехала в другой угол комнаты.

Работники службы безопасности Второго рудоуправления, почуввав неладное, выскочили из дежурного помещения на улицу и заметили горизонтальные подвижки поверхности. И уже в 3 часа 30 минут диспетчер железнодорожной станции Березники позвонил в городское управление ГО и ЧС, сообщив, что у него почему-то трясется пульт. Эти часы и минуты и являются временем подземных толчков.

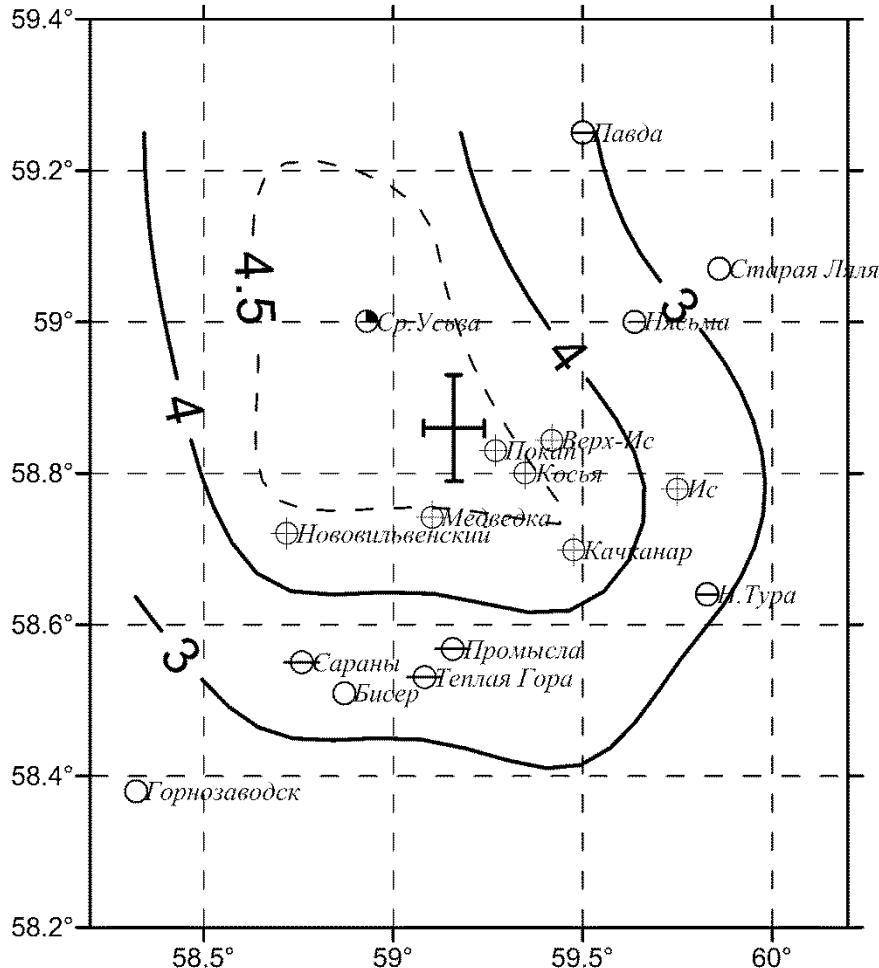
Вчера в Березники срочно выехал известный ученый, профессор Горного института УРО РАН Владимир Маркович Новоселицкий. Он установит точное направление и мощность подземного толчка, проанализирует его причины. Подробности - после возвращения профессора из командировки.

Ольга ЯКОВЛЕВА,
Ринат АЛИЕВ

Землетрясение в г.Оса 26.12.2008, $M_L = 1.8$



Качканарское землетрясение 29.03.2010, $M_L=4.4$



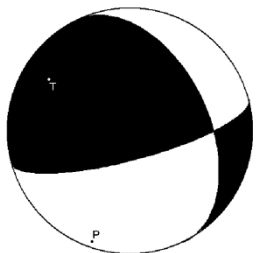
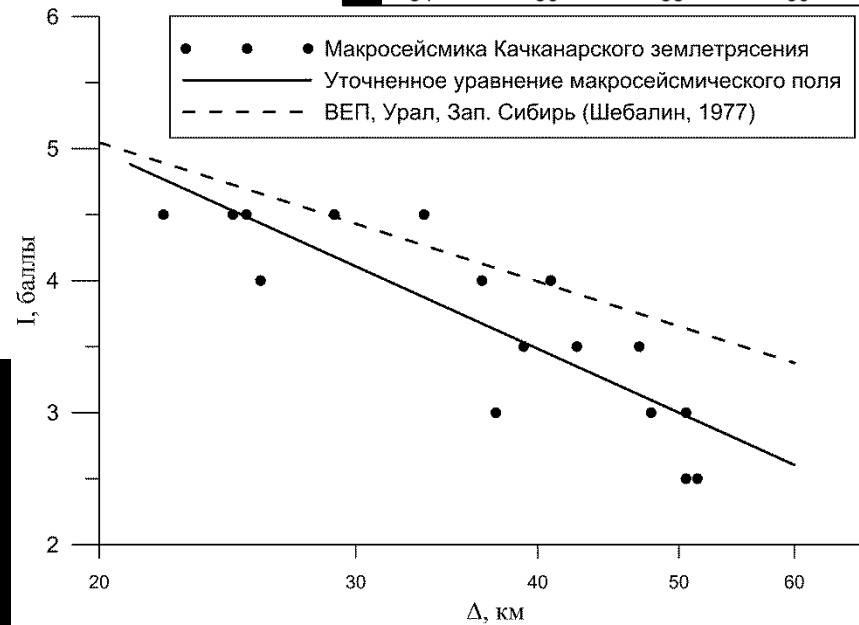
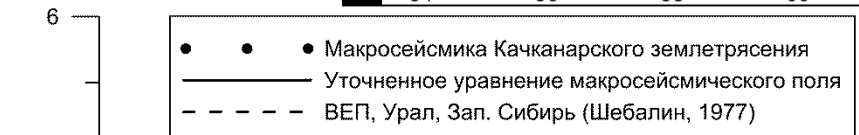
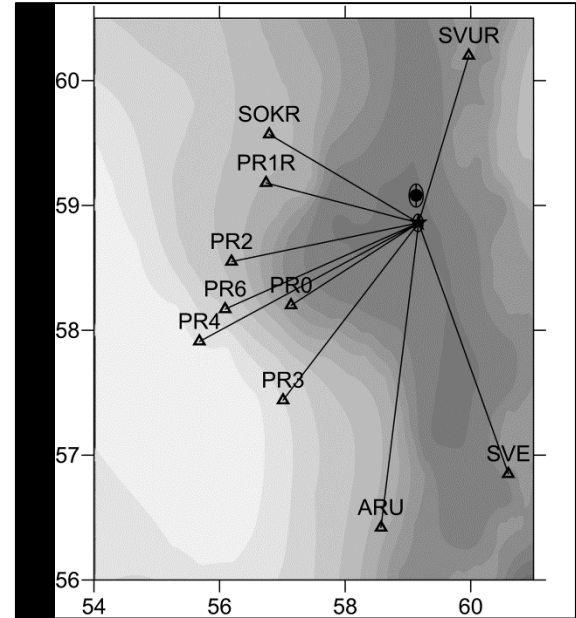
Условные обозначения



инструментальный эпицентр

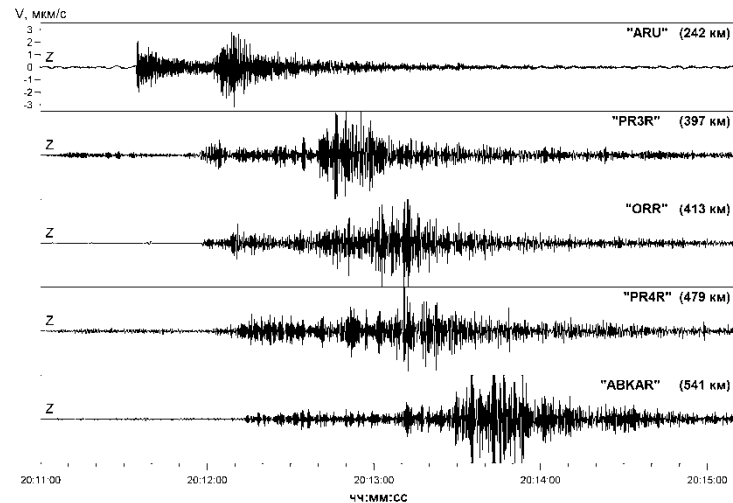
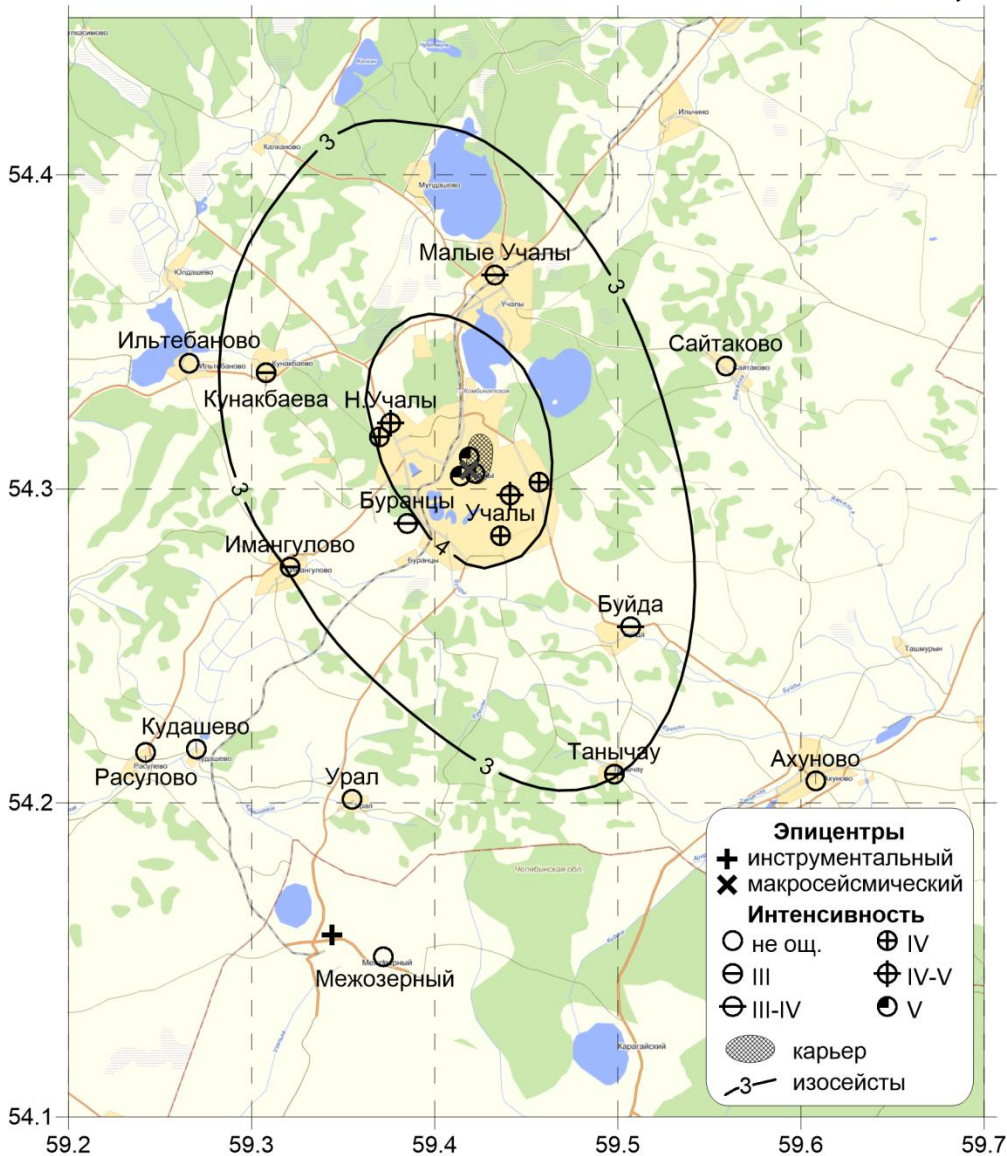
Интенсивность, баллы

- 5
- 4-5
- 4
- 3-4
- 3

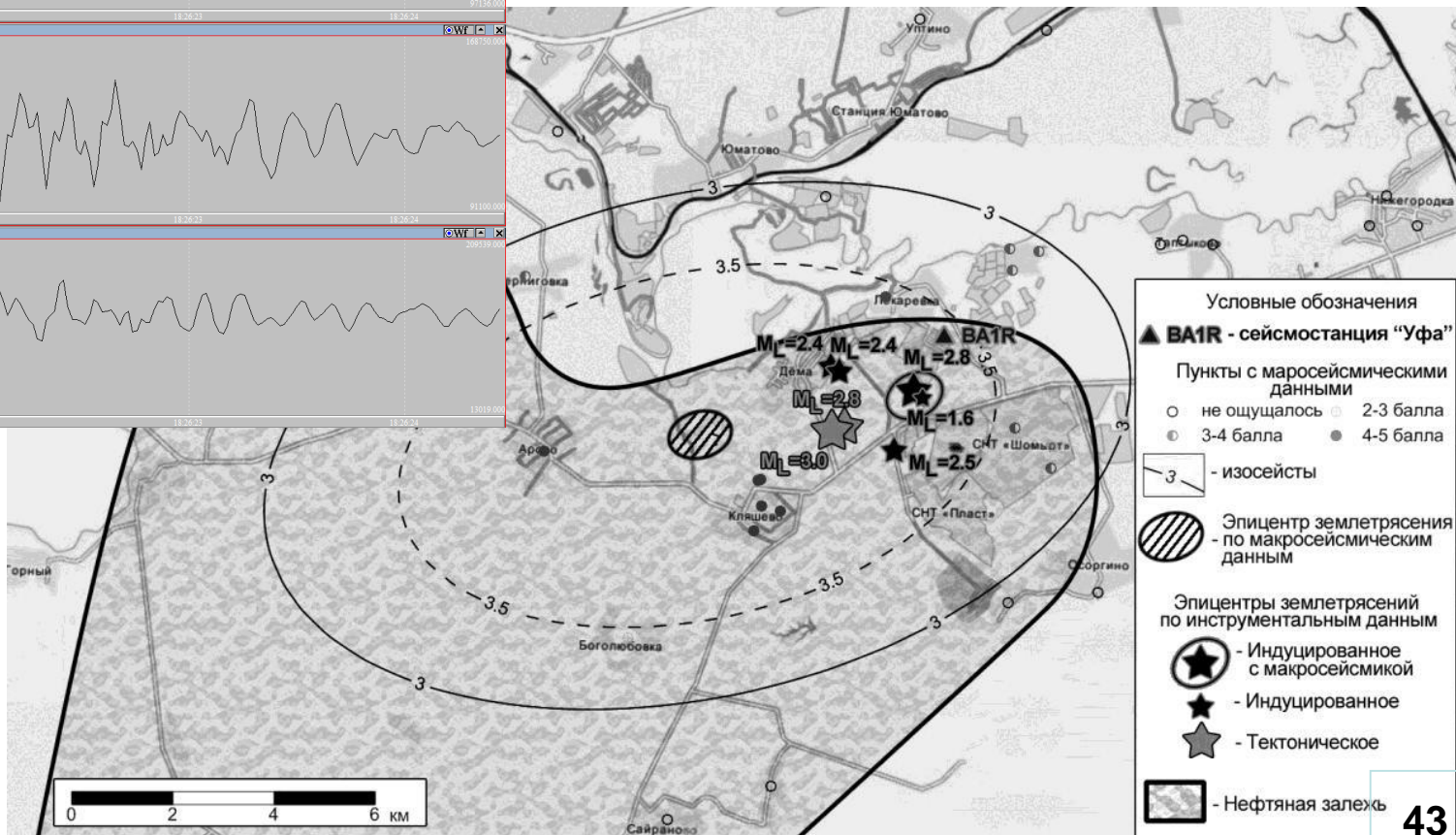
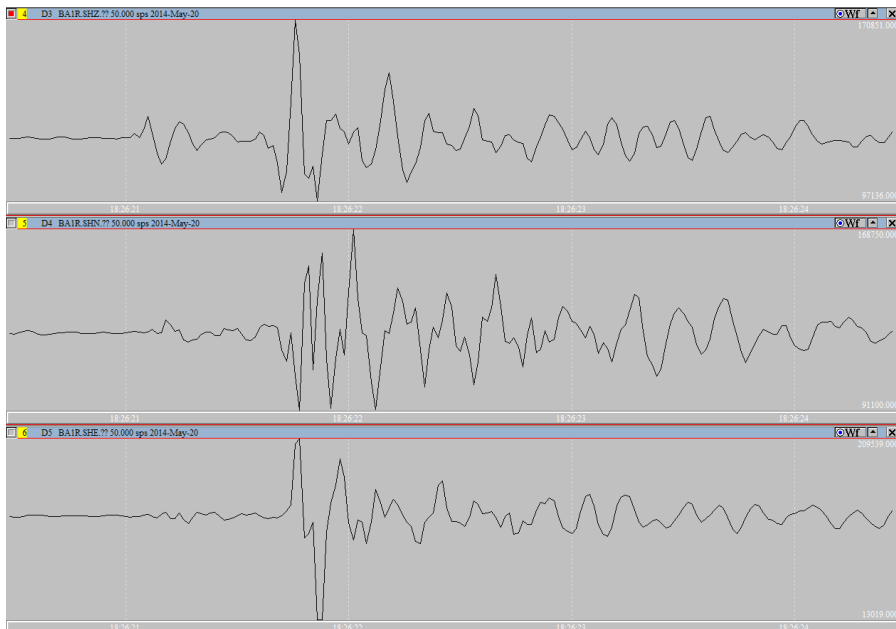


Оси главных напряжений		Нодальные плоскости		
Azimuth	Plunge	Strike	Dip	Rake
T	38	75	NP1	77
P	17	335	NP2	50
				164

Горно-тектонический удар в г. Учалы 5.09.2012, $M_L = 3.4$

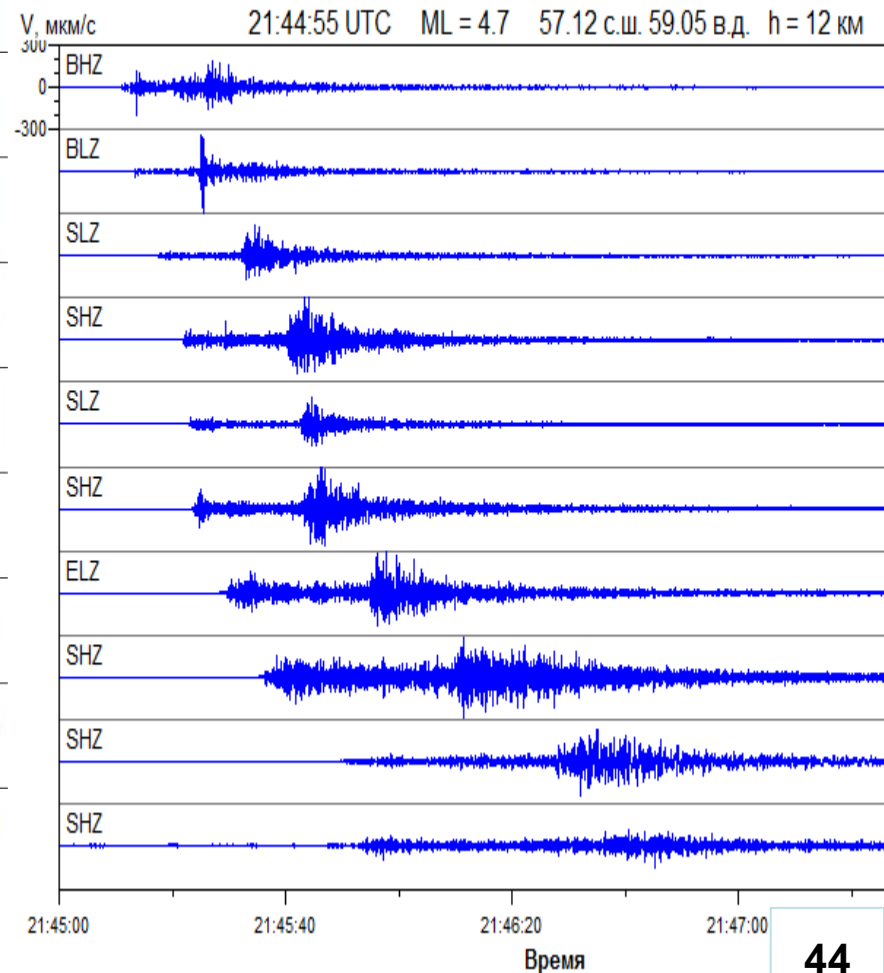
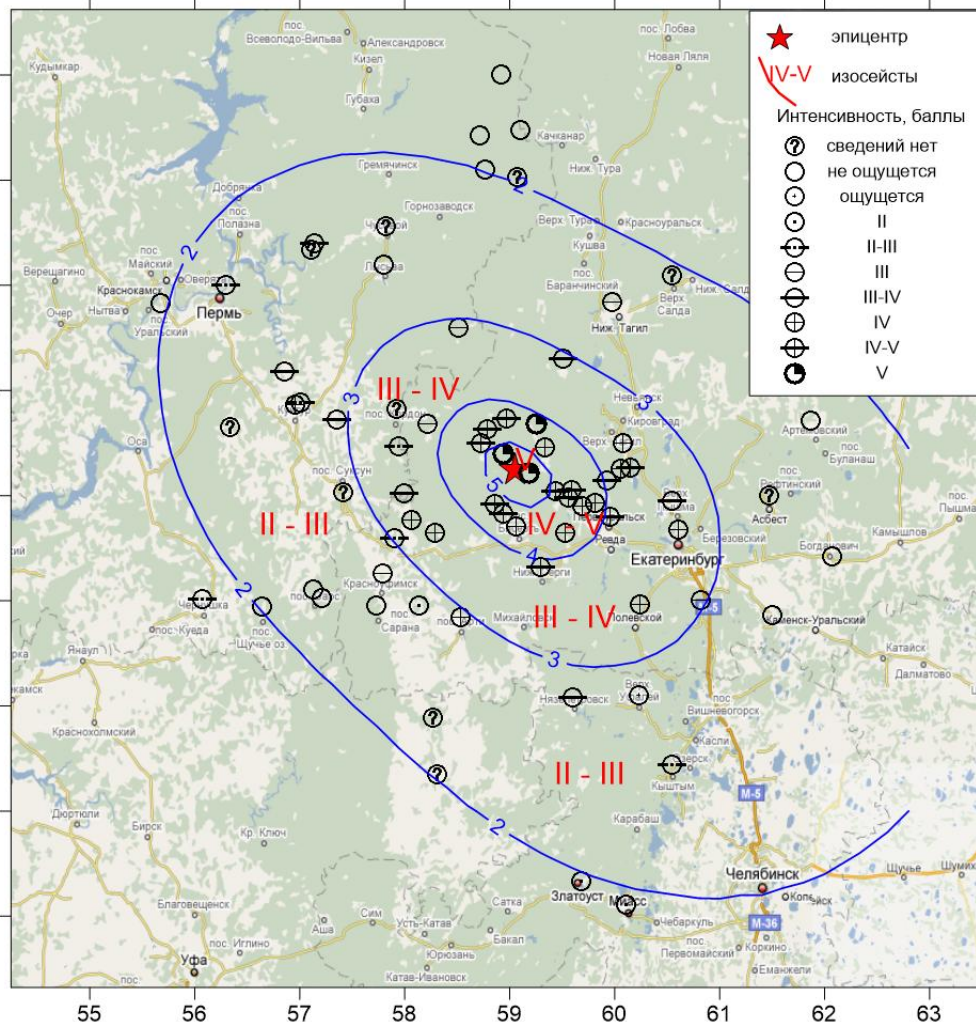


Землетрясение под г.Уфа (Кляшево) 20.05.2014, $M_L=2.8$

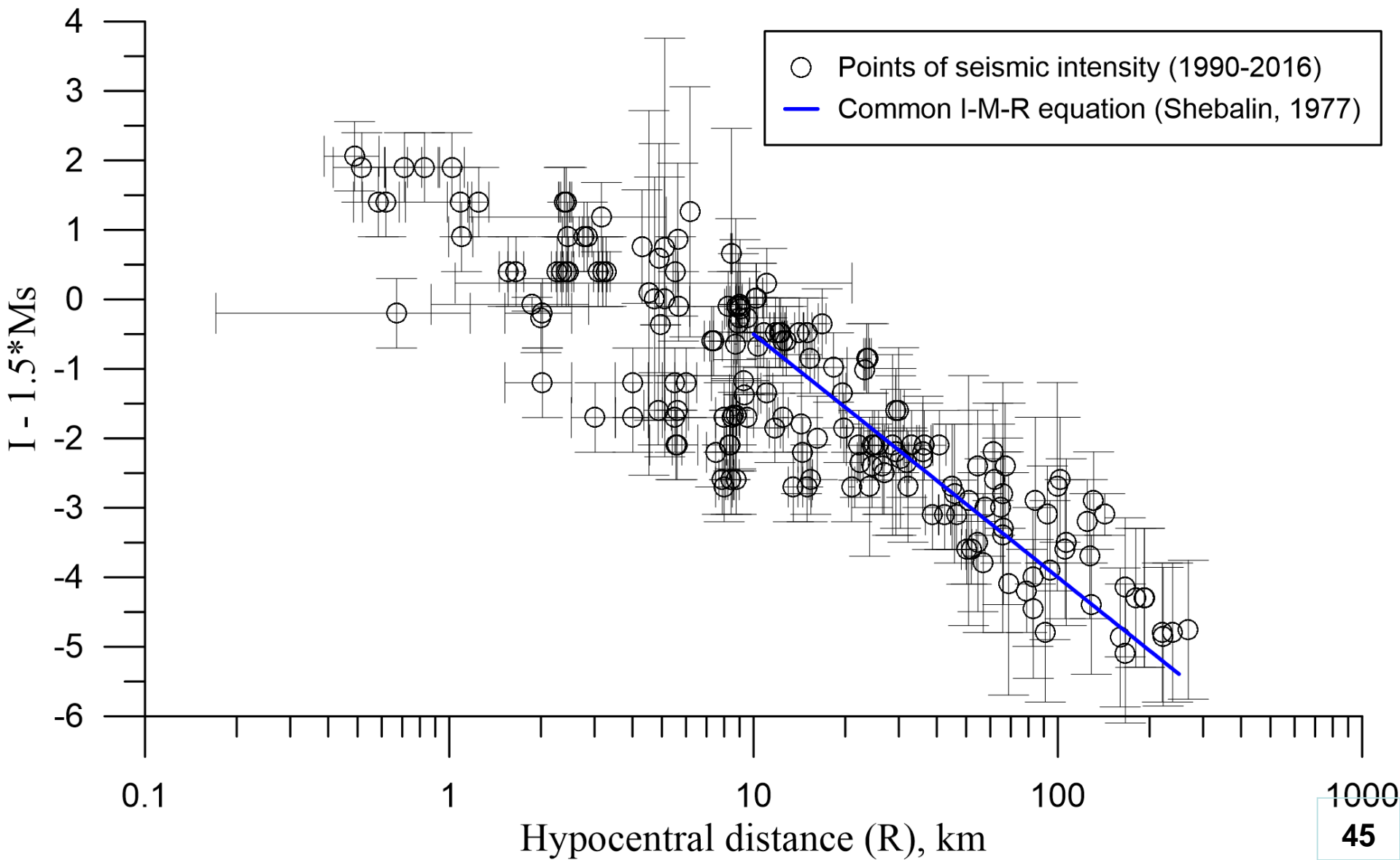


Среднеуральское землетрясение 18.10.2015, $M_L=4.7$

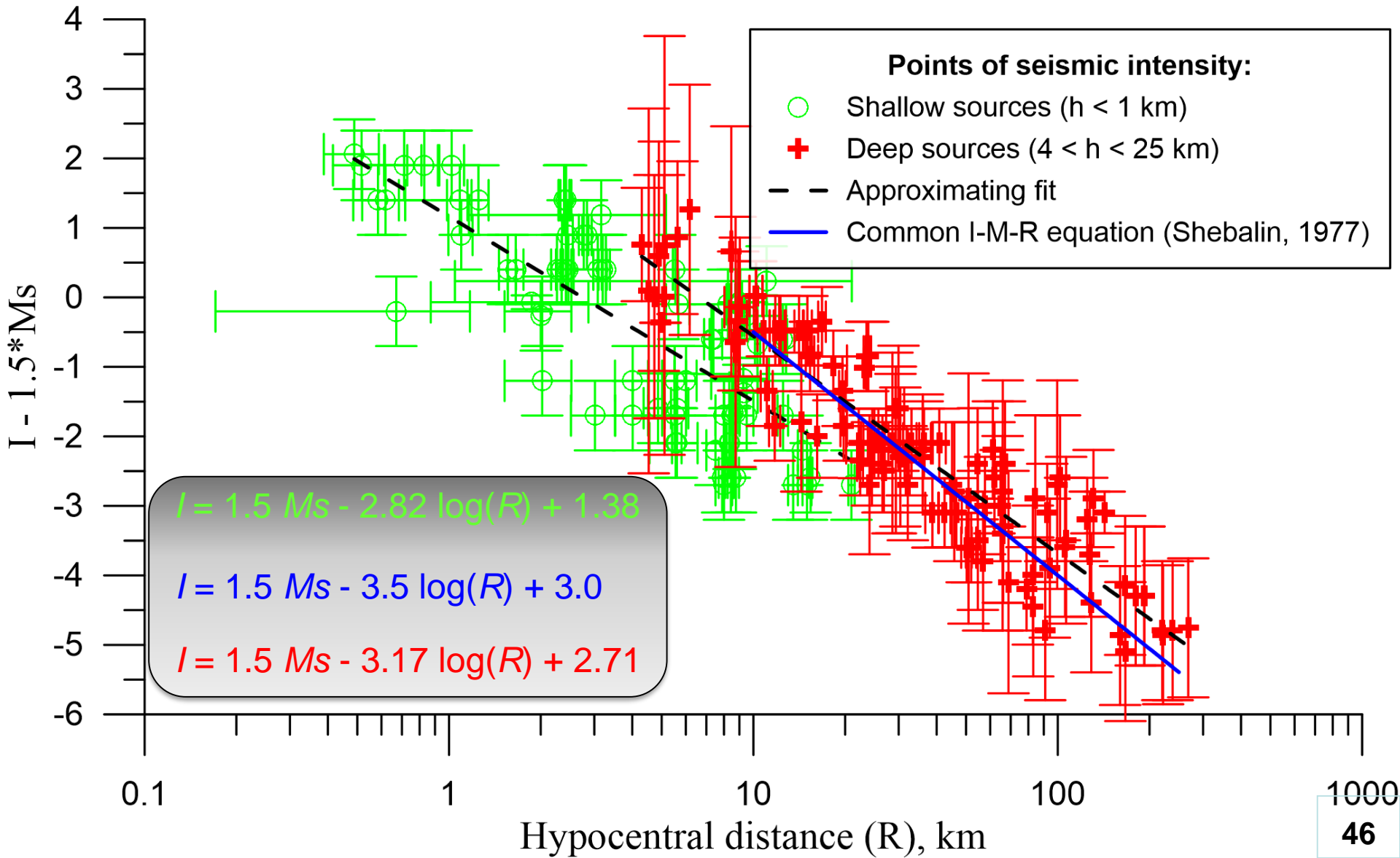
Сейсмограммы землетрясения, произошедшего 18 октября 2015
в районе г. Староуткинск (Свердловская область)



Уточнение модели распространения макросейсмического эффекта



Уточнение модели распространения макросейсмического эффекта

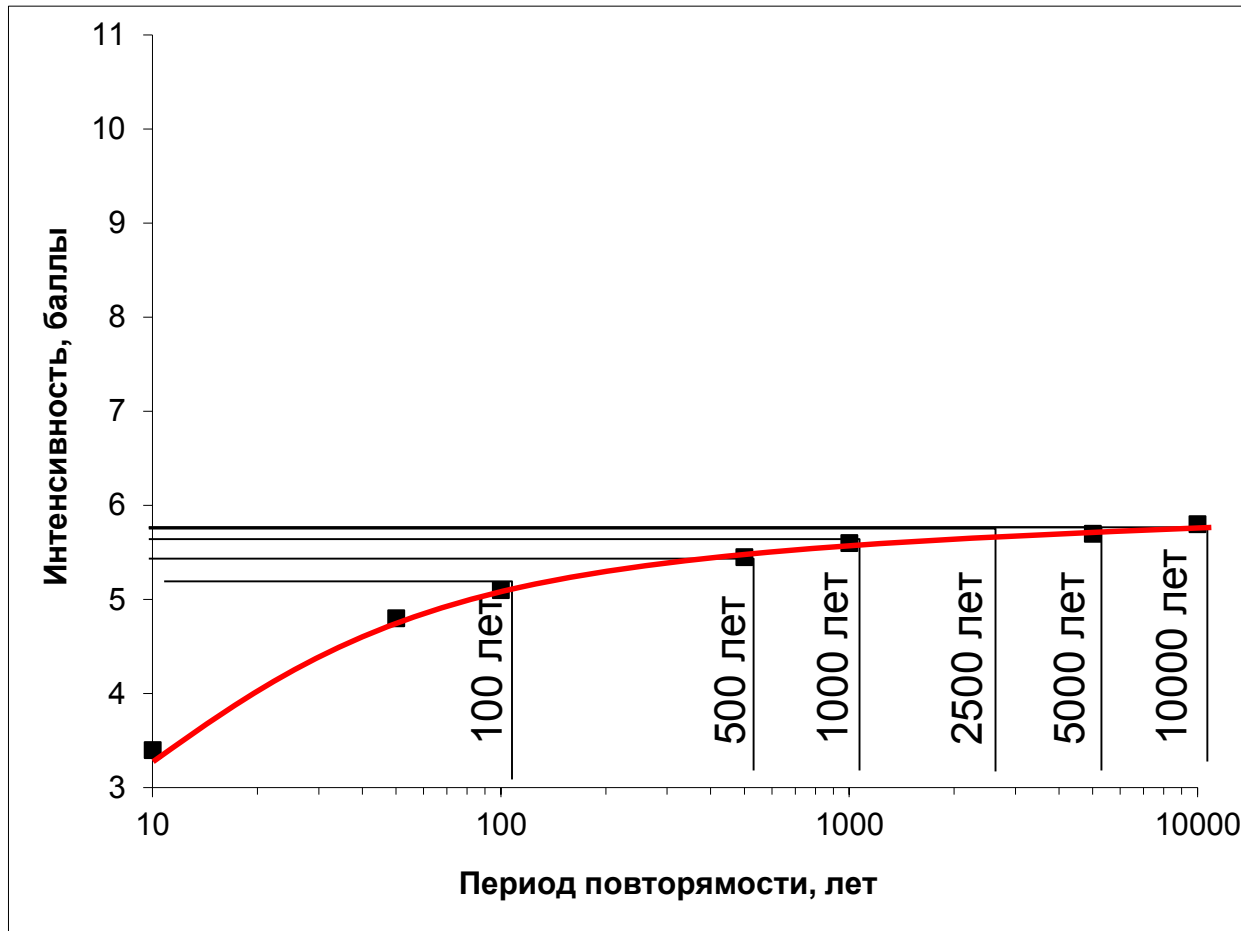


Вероятностный расчет интенсивности в конкретных точках пространства

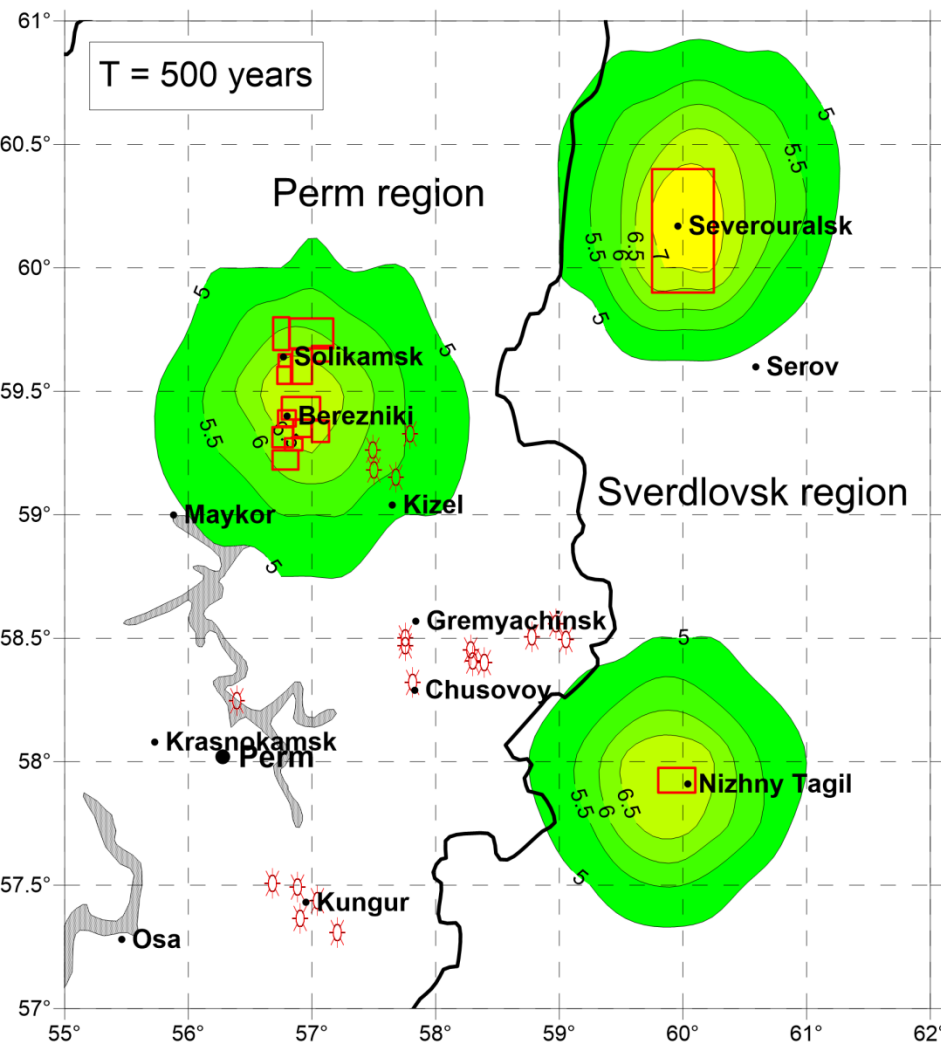
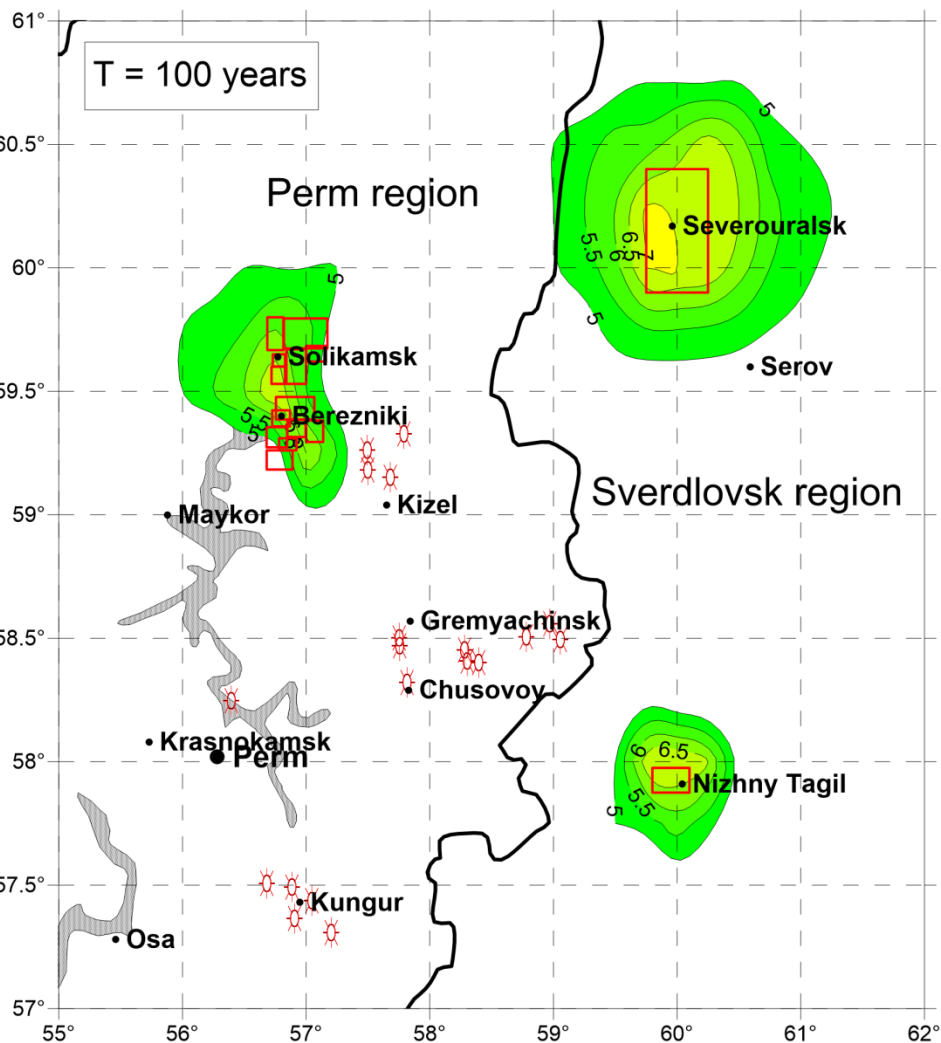
Моделирование сейсмичности (создание виртуального каталога)

- ▶ Требуемая точность построений, $\delta I = 0.1$ балла
- ▶ Ошибка одиночного определения интенсивности, $\sigma I = 1$ балл
- ▶ $\delta I = \frac{\sigma I}{\sqrt{N}}, N = 100$
- ▶ Длительность каталога, T :
 - $T_A = 500N = 50\ 000$ лет
 - $T_B = 1000N = 100\ 000$ лет
 - $T_C = 5000N = 500\ 000$ лет

Построение зависимости $I(T)$ в каждом узле сетки на исследуемой площади



Сейсмическая опасность, обусловленная зонами ВОТЗ



Заключение

- Новые аспекты сейсмической опасности на Урале связаны с техногенной сейсмичностью, проявления которой сопоставимы, а иногда и превосходят эффекты от природных землетрясений.
- Техногенная сейсмичность, как и природная, может быть структурирована в виде зон ВОТЗ, позволяющих описать сейсмический режим в виде, достаточном для решения задачи оценки связанной с воздействием человека сейсмической опасности.
- Имеющиеся на сегодняшний день макросейсмические данные по уральским землетрясениям позволяют не только расширить диапазон репрезентативности модели распространения макросейсмического эффекта по интенсивности ($2 < I < 7$) и гипоцентральному расстоянию ($0.5 < R < 20$ км) для очагов с малыми магнитудами ($1.5 < M_s < 4.5$), но и определить УМП отдельно для природных землетрясений Урала и отдельно для поверхностных (техногенных) очагов.
- Наибольшая сейсмическая опасность техногенных землетрясений связана с зонами, генерирующими тектонические и обвальные очаги, а очаги взрывной природы, как поддающиеся наибольшему контролю со стороны человека, обеспечивают лишь фоновый уровень сейсмической опасности.
- Новые вероятностные оценки сейсмической опасности в районах развития техногенной сейсмичности в виде карт сейсмической опасности для периодов повторяемости 100 и 500 лет, свидетельствующие о существенности данного фактора в районах со слабой и умеренной сейсмичностью, таких как Урал.

Спасибо за внимание!