

Триггерные эффекты в геосистемах

ИДГ РАН Москва-2022

Батугин Андриан Сергеевич,
Горный институт НИТУ «МИСиС»

Предельно напряженное состояние земной коры
как среда для инициирования триггерных
геодинамических эффектов

Московский горный институт НИТУ «МИСиС»



Научный центр геодинамики недр



Московский государственный горный университет

Центр геодинамики недр (ЦГН)
Тел. (495)236-9590

Научный руководитель ЦГН, проф., д.т.н. И.М.Батугина

Направления научных исследований

- Развитие научных основ геодинамического районирования месторождений полезных ископаемых с учетом геодинамики земной коры и механики горных пород
- Теоретическое обоснование метода структурно-геодинамического картирования горного массива
- Разработка научно-методических рекомендаций и нормативных документов по безопасной и эффективной разработке глубоких горизонтов месторождений полезных ископаемых, оптимальной раскройке шахтных полей и выбору региональных технологических схем на основе геодинамического районирования и картирования горных массивов
- Оценка геодинамического риска при освоении недр и земной поверхности
- Установление геодинамически активных блочных структур месторождений
- Разработка рекомендаций по безопасному и эффективному освоению недр и земной поверхности

Выполняемые работы

- Выявление потенциально опасных участков для трассы трубопровода Сургут-Самара, Ямал-Белосток и др.
- Выявление потенциально аварийных участков на трассе железной дороги Санкт-Петербург-Москва-Кемерово
- Выявление блочной структуры месторождения Таштагол и прогноз потенциально опасных участков при ведении горных работ
- Выявление блочной структуры на месторождении «Красная шапочка» (СУБР) и прогноз опасных участков при ведении горных работ
- Выявление блочной структуры, установление причин и механизма горно-тектонических ударов на месторождении Бейляю, КНР
- Прогноз благоприятных участков для нефтедобычи на месторождениях Удмуртии и КНР
- Геодинамическое районирование Московской области
- Геодинамическое районирование полей 4-х рудников «Норильского никеля», Норильск
- Оценка геодинамического риска при разработке двух месторождений золота в Узбекистане
- Решение проблем геобезопасности территории г. Пекина методом геодинамического районирования

Институт горной геомеханики и маркшейдерского дела (ВНИМИ) в Санкт-Петербурге



Содержание

- Горные удары на шахтах и рудниках и представления о предельно напряженном состоянии массива
- Техногенные землетрясения с большой глубиной гипоцентра на месторождениях
- К природе техногенных землетрясений в других индустриальных районах

В СССР и России более 40 рудных месторождений, склонных к горным ударам,
более 300 угольных пластов

Каталог угольных пластов



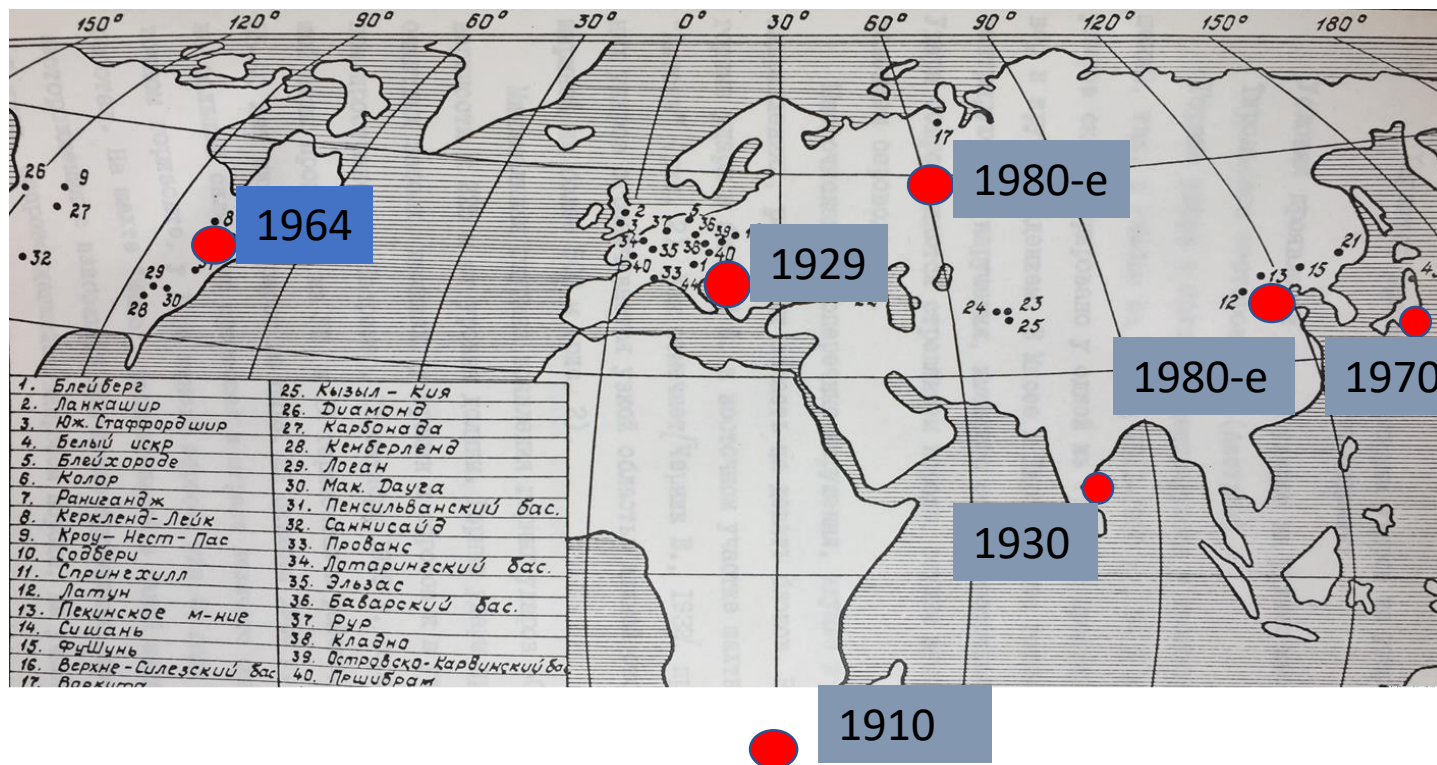
Инструкция по горным ударам



Обычно горный удар – это авария в шахте
(photo of Christopher Mark)



Сильные горные удары (техногенные землетрясения по современным классификациям) известны на многих месторождениях мира.



В истории горного дела известны очень сильные горные удары, которые проявлялись как землетрясения.

8 декабря 1976 г., ЮАР, $M = 5,2$ (Durrheim et al., 2007)



Из классификации ГУ по механизму

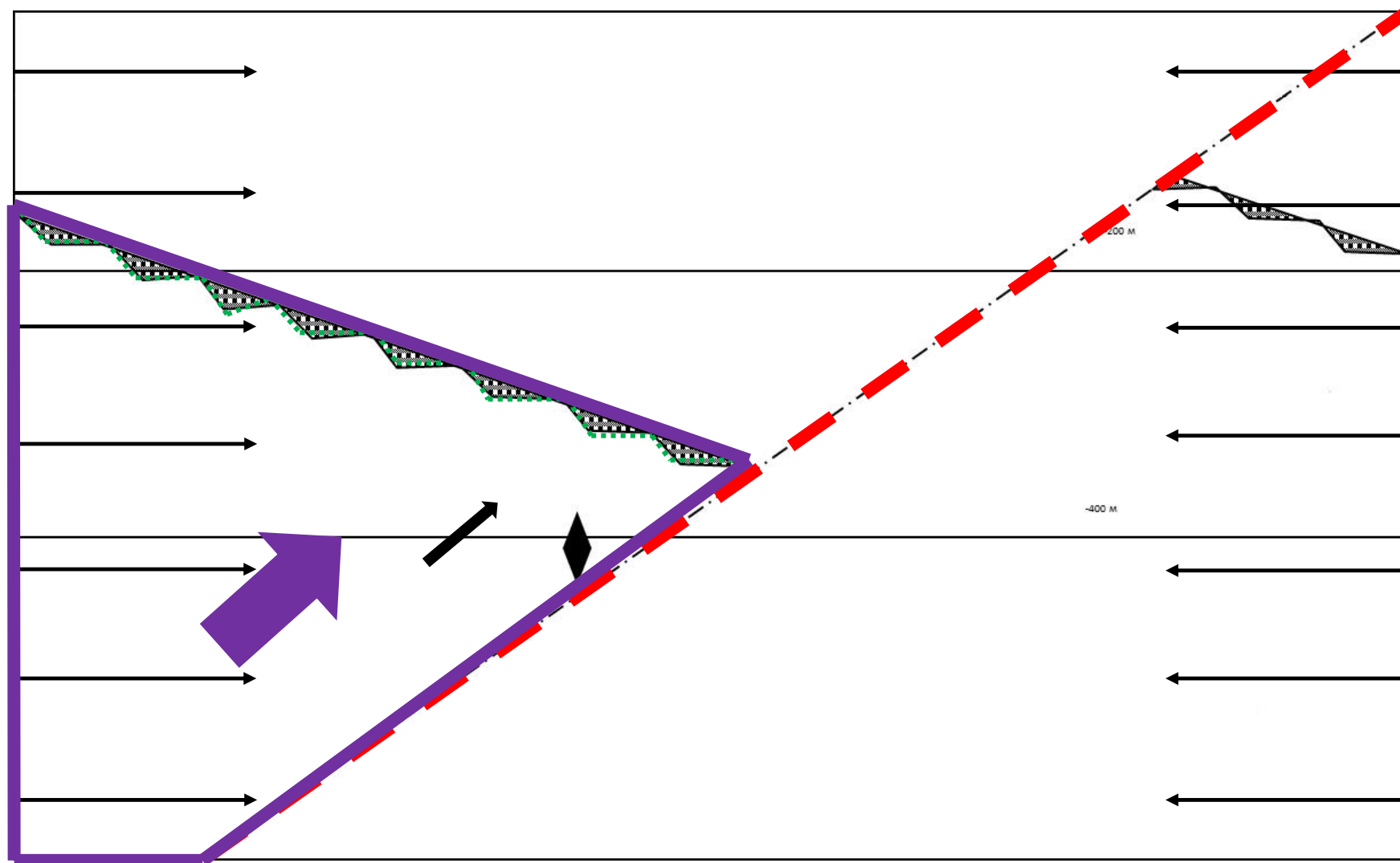
Горный удар происходит со смещением крыльев тектонических нарушений:

Горно-тектонический удар

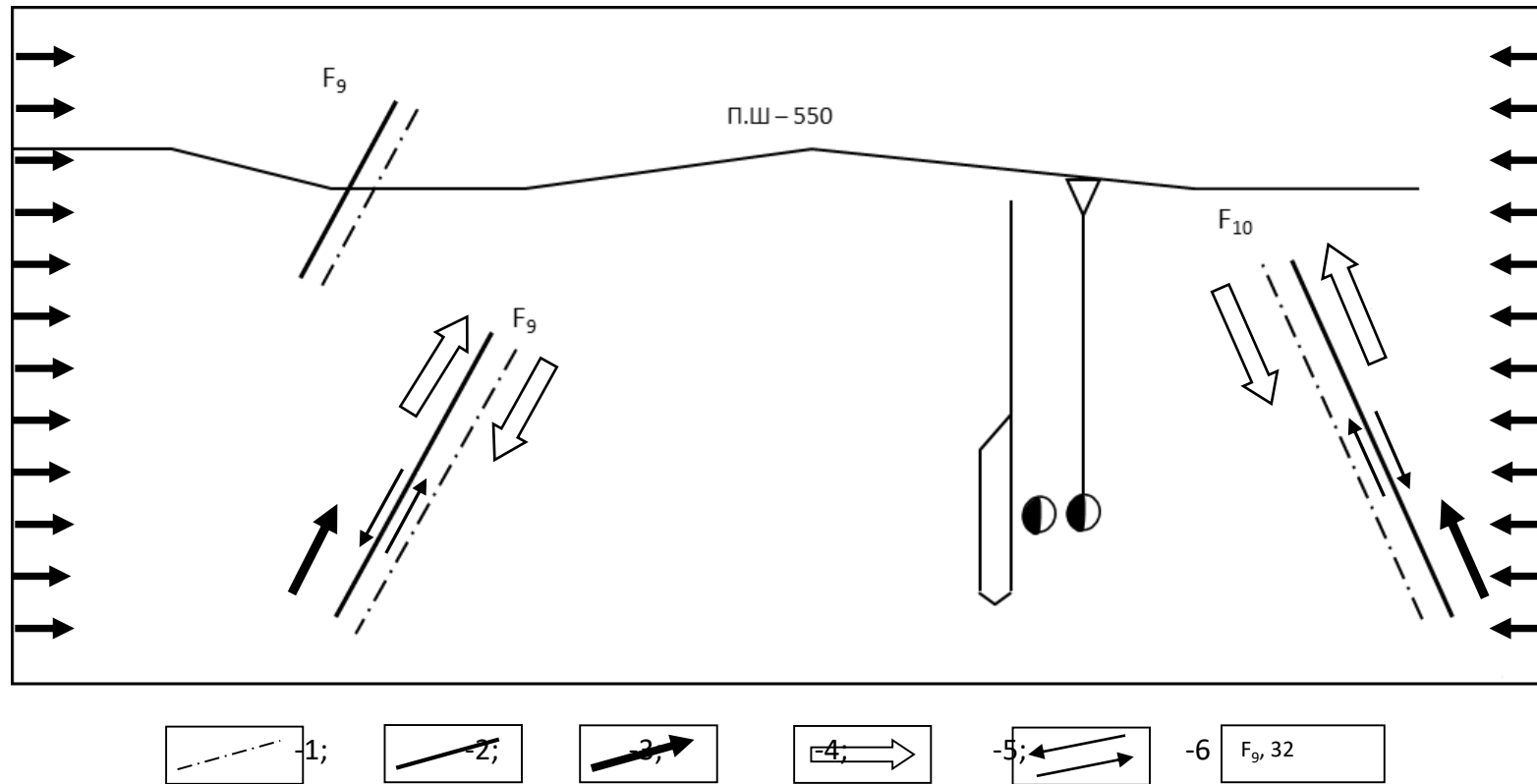
Fault-slip

Slip-burst

Тектонофизическая схема горно-тектонического удара 5.10.1984 с реактивацией нарушения (Батугин, 1986, 2019)



Тектонофизическая схема горно-тектонического удара с реактивацией нескольких нарушений одновременно (M=4.3 на Бейпяо, Китай)

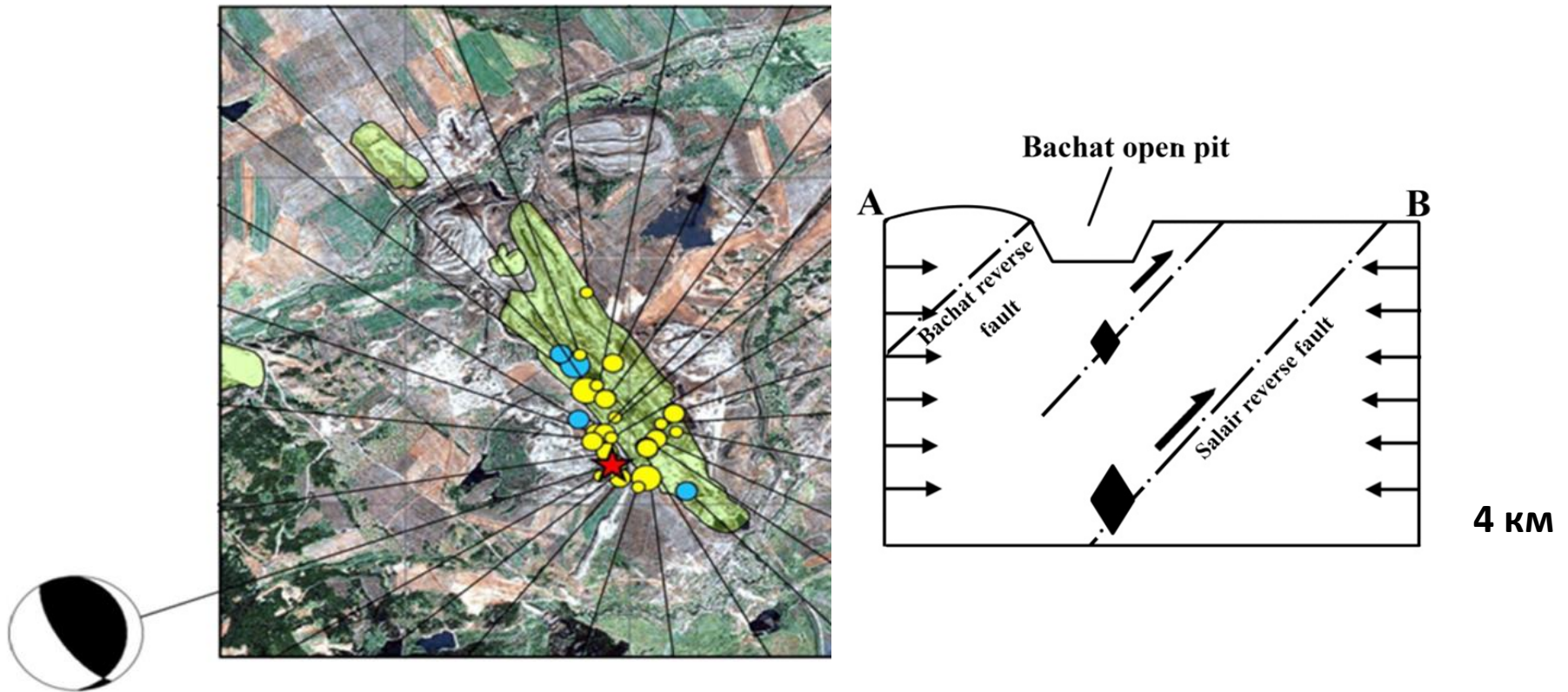


1 – tectonic faults; 2 – boundaries of the active crustal blocks; 3 – direction of displacement of walls during rock burst; 4 – orientation of the modern shearing stresses; 5 – cinematic type of fault during geological process; 6 – mine shafts.

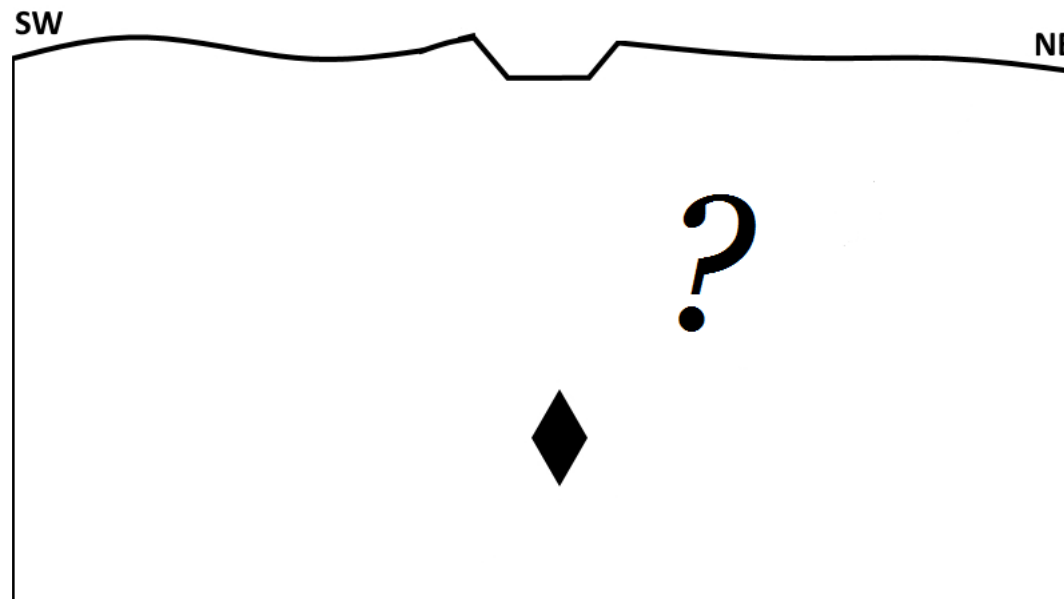
We can see there were reversible displacements along major faults here

Тектонофизическая схема Бачатского землетрясения такая же, как для горно-тектонического удара

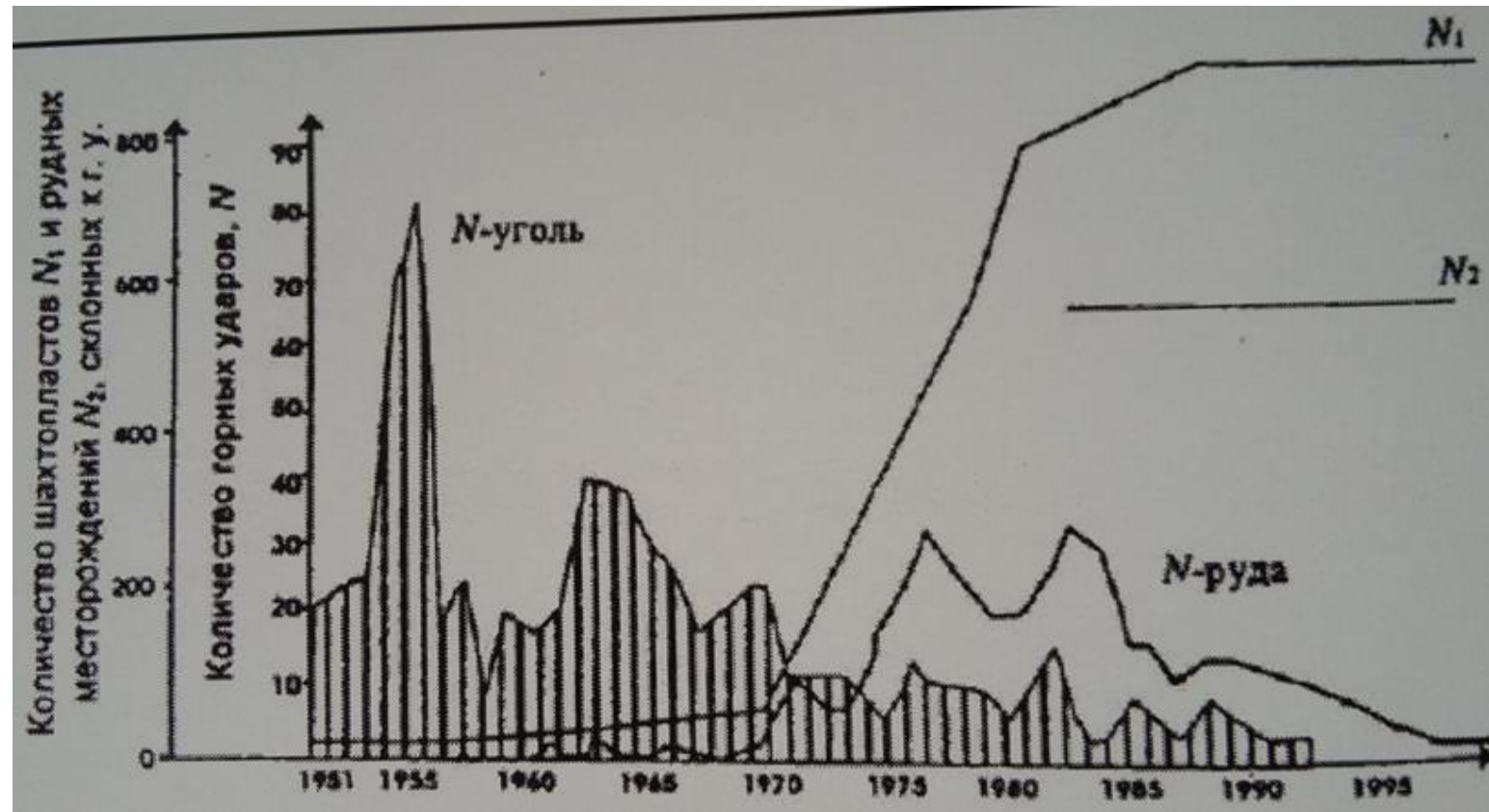
Главное событие Бачатского землетрясения по сейсмологическим данным - чистый взброс (Еманов, 2014)



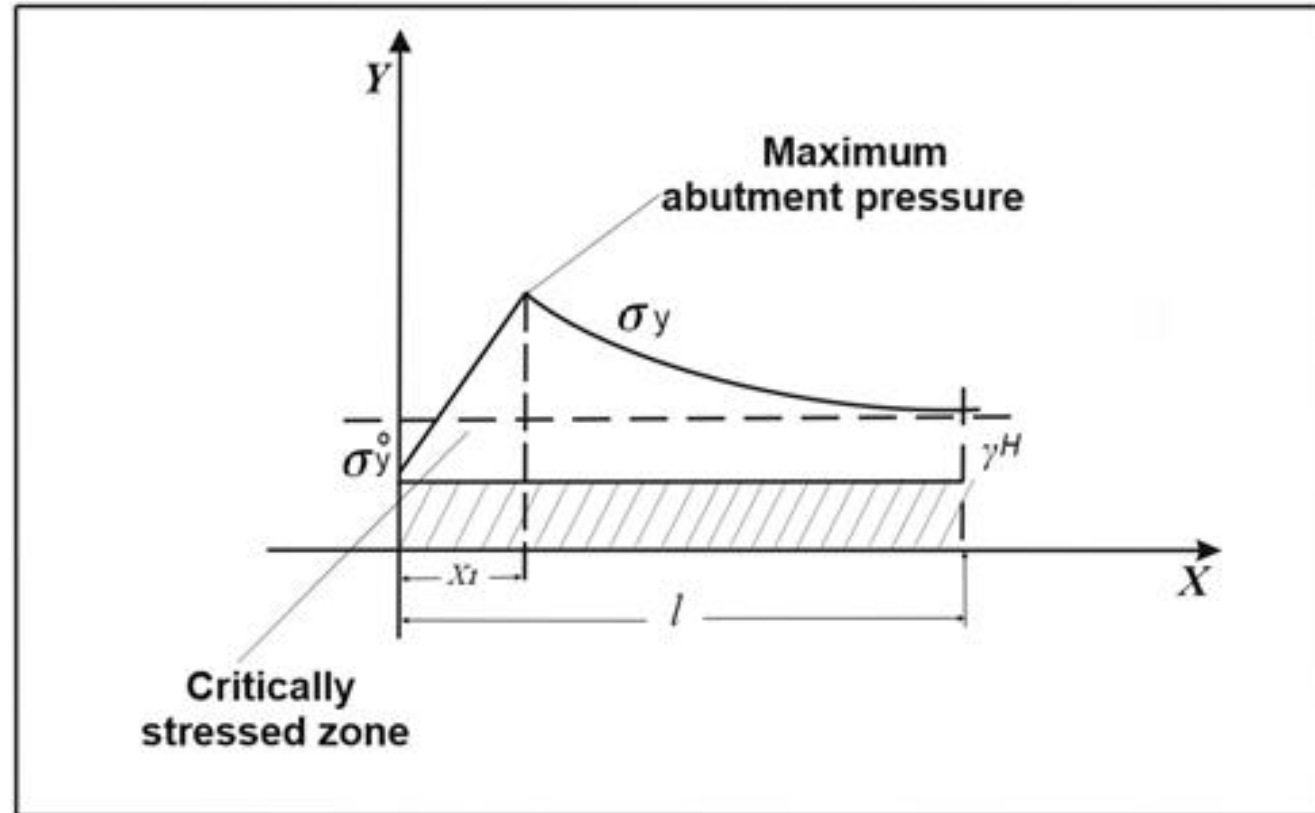
Непонятно, как горные работы на разрезе глубиной 300 м могли вызвать землетрясение с глубиной гипоцентра около 4 км.



Горные удары в СССР и России



О зоне предельно напряженного состояния



Расстояние до максимума опорного давления используется как параметр при оценке опасности

Категория удароопасности скважин по дискованию керна устанавливается по номограмме (рисунок 9) или расчетным методом.

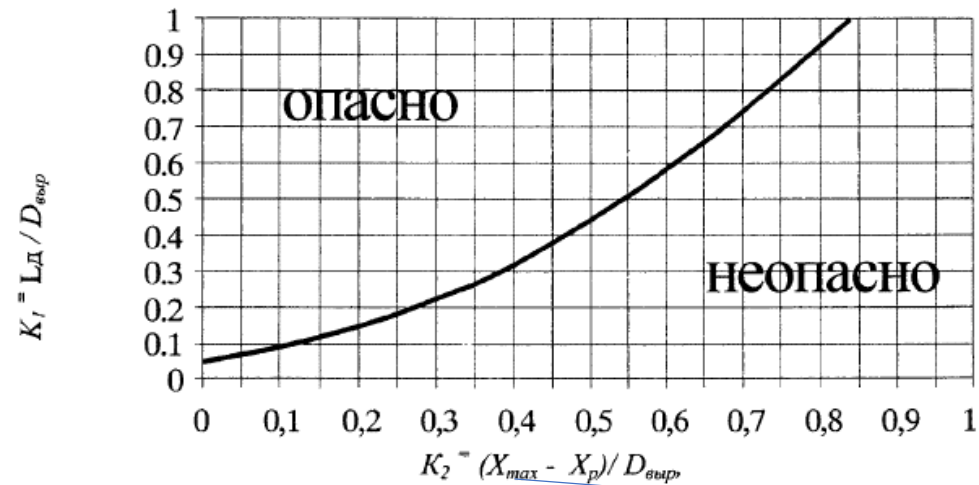
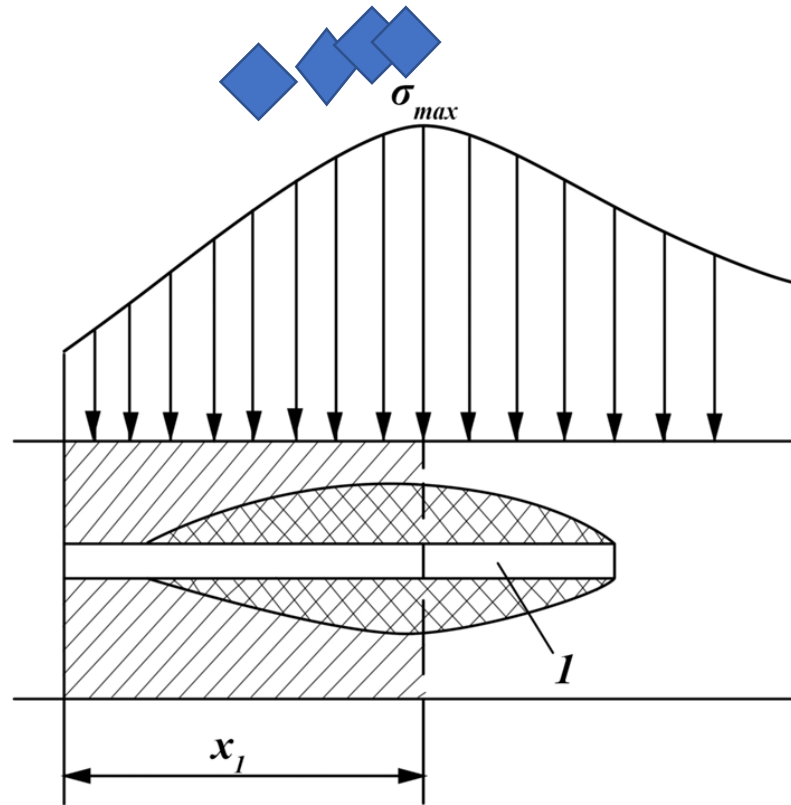


Рисунок 9 - Номограмма для определения категории удароопасности скважин по дискованию керна (для скважин 59 мм; керна 42 мм): X_{\max} - расстояние от - контура выработки до максимума опорного давления, м; $X_{p.l}$ - мощность приконтурной зоны разрушенных пород, м; $D_{\text{выр}}$ - наибольший размер выработки, м

Расстояние до максимума опорного давления

Из практики известно, что большинство микросейсмических событий происходит в области перехода пласта в предельно напряженное состояние



Профессор Петухов И.М. – автор идеи о предельно напряженном состоянии земной коры

«НЕДЕЛЯ ГОРНЯКА-2002»

УДК 622.831

© И.М. Петухов, 2002

И.М. Петухов НАУЧНЫЕ ОСНОВЫ ВОЗНИКНОВЕНИЯ ГЕОДИНАМИЧЕСКИХ ЯВЛЕНИЙ В ЗЕМНОЙ КОРЕ

В программе «Геодинамическая безопасность при освоении недр и земной поверхности» рассматриваются условия возникновения геодинамических явлений разного рода: от стреляний, толчков, горных ударов и выбросов до техногенных и природных землетрясений (рис. 1) [5].

При всем различии этих явлений, они имеют черты общности, позволяющие их объединить.

Остановимся, прежде всего, на природе горных ударов. Еще в работах пятидесятых годов нами было установлено, что при горных ударах всех видов имеет место выделение энергии как из элемента горных пород, разрушающегося при ударе, так и

энергии из прилегающих пород.

$$W = \frac{W_{\text{внешн.}}}{W_{\text{внутр.}}} > 0$$

Если этого соотношения нет, то нет и горного удара или другого геодинамического явления, подобного ему.

Как осуществляется приток «внешней» энергии из окружающего массива пород?

На рис. 2,а дана схема проявления горного удара в целике угля [1, 2]. При разрушении целика угля в виде горного удара происходит выделение энергии из самого целика (1) и, как видно из рис. 2,а высвобождается энергия из боковых пород (3). Сближение пород кровли и почвы состав-

ляет несколько десятков сантиметров и более, причем сам процесс этого сближения носит колебательный характер, т.к. сначала происходит максимальное сближение пород, затем оно частично восстанавливается.

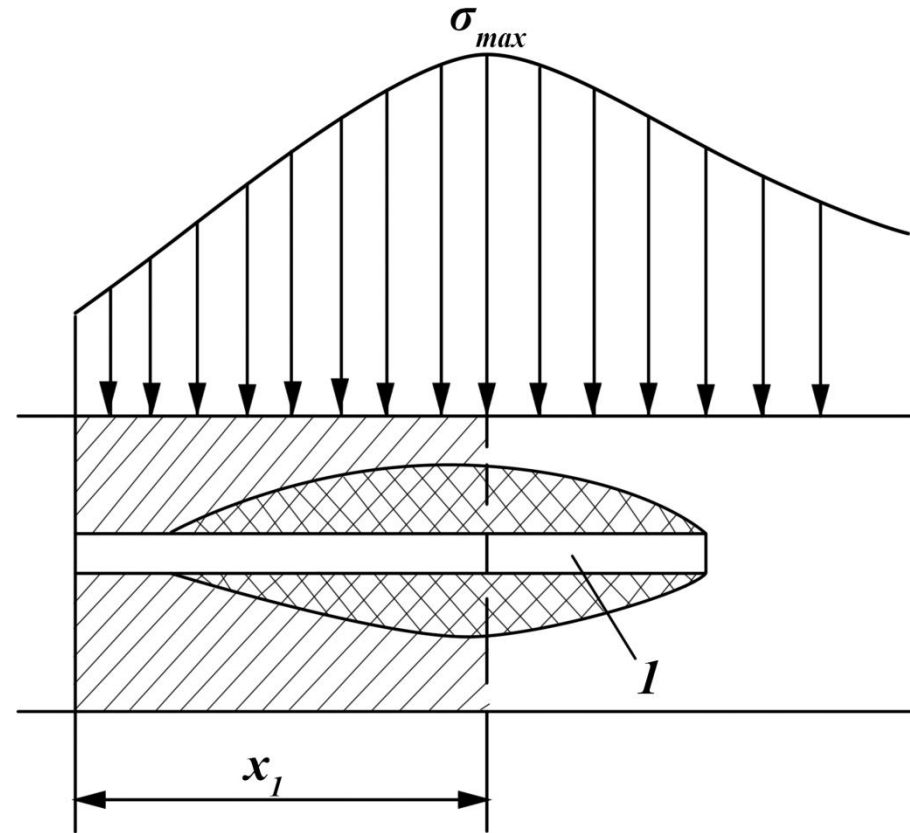
На рис. 2,б приведен пример разрушения выступающего элемента породы в горной выработке в результате геодинамического явления типа стреляния пород. Внешняя энергия в данном случае выделилась в результате скольжения отделяющегося элемента пород (1) и расширения пород (2).

При геодинамическом явлении, изображенном на рис. 2 г, выделение энергии произошло в результате толчкообразного преодоления трения на участке MN. Эффект усиливается благодаря неравенству силы трения при лосе и силы трения при скольжении. Кроме того здесь также происходит простое расширение пород прилегающего массива.

При горных ударах типа толчков происходит, как правило, деформирование массива пород по отдельным элементам массива угля и пород в зо-

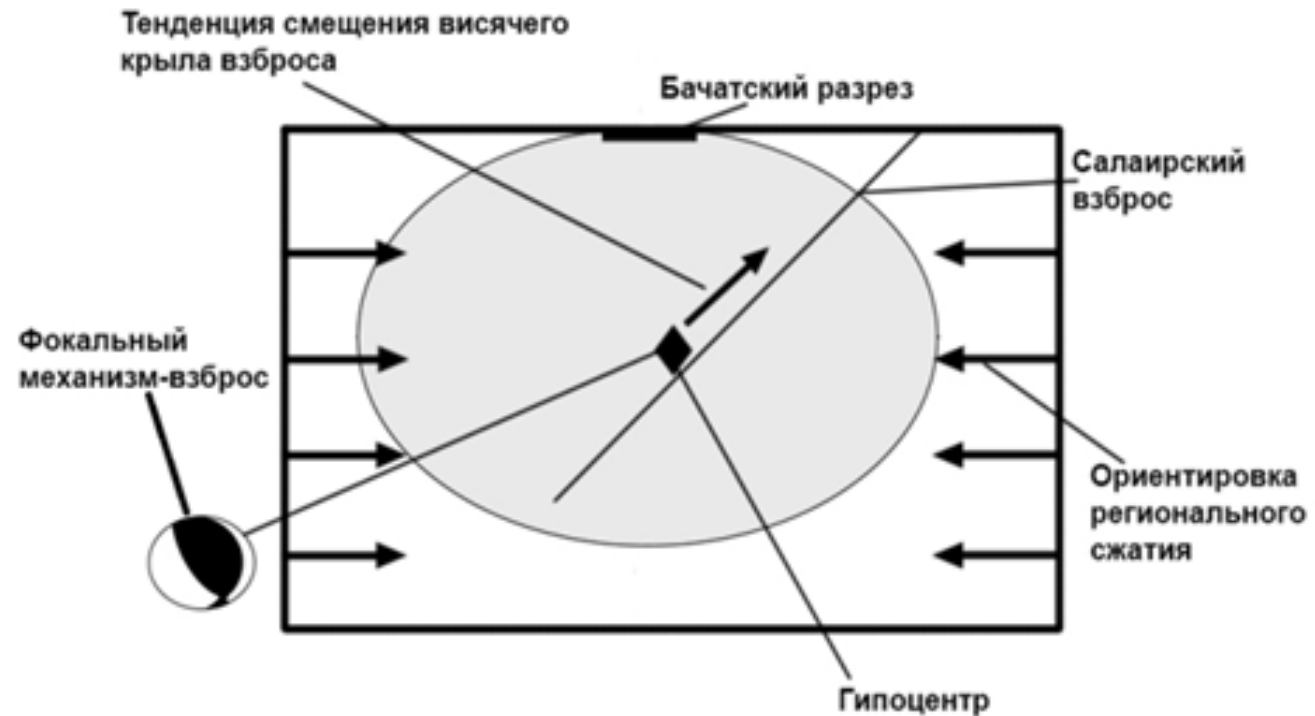


Схема формирования предельно напряженного состояния двух иерархических уровней

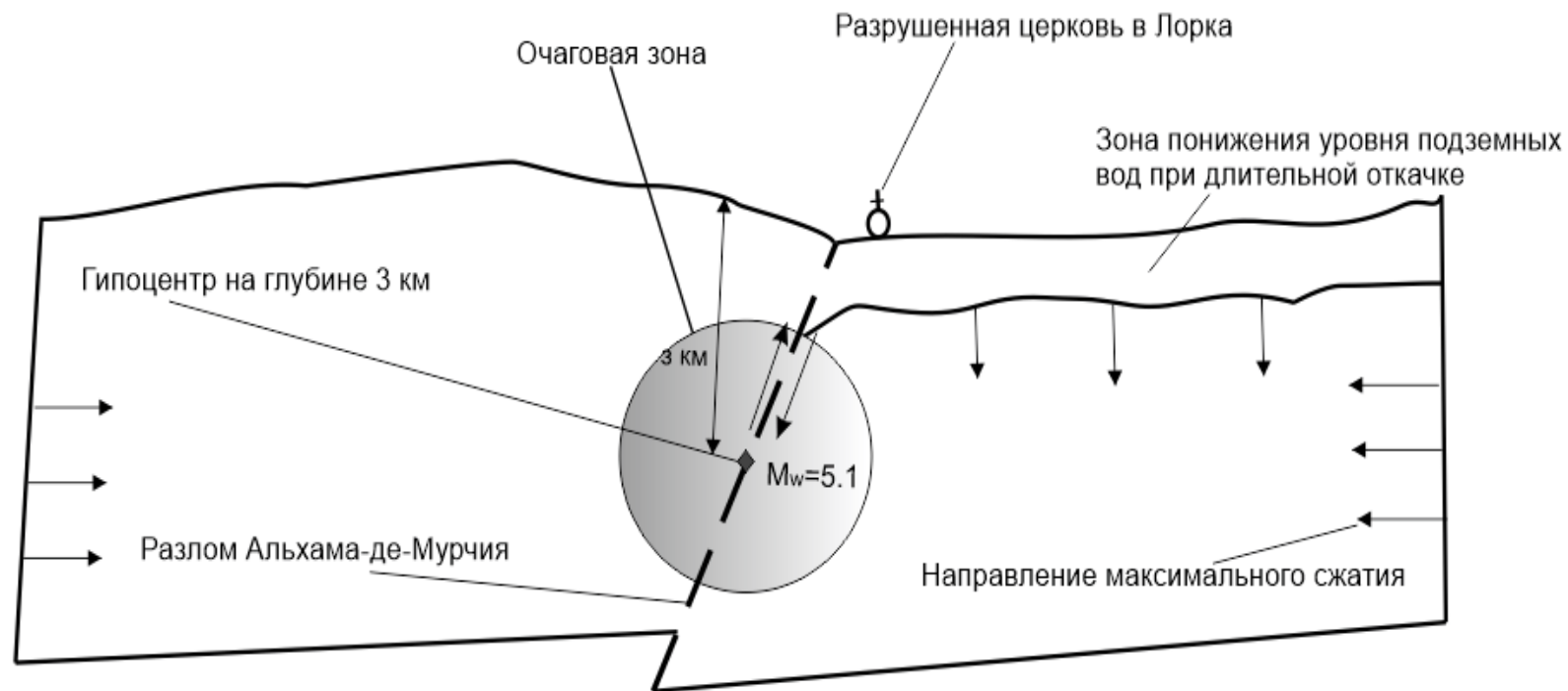


2. Техногенные землетрясения с большой глубиной гипоцентра на месторождениях

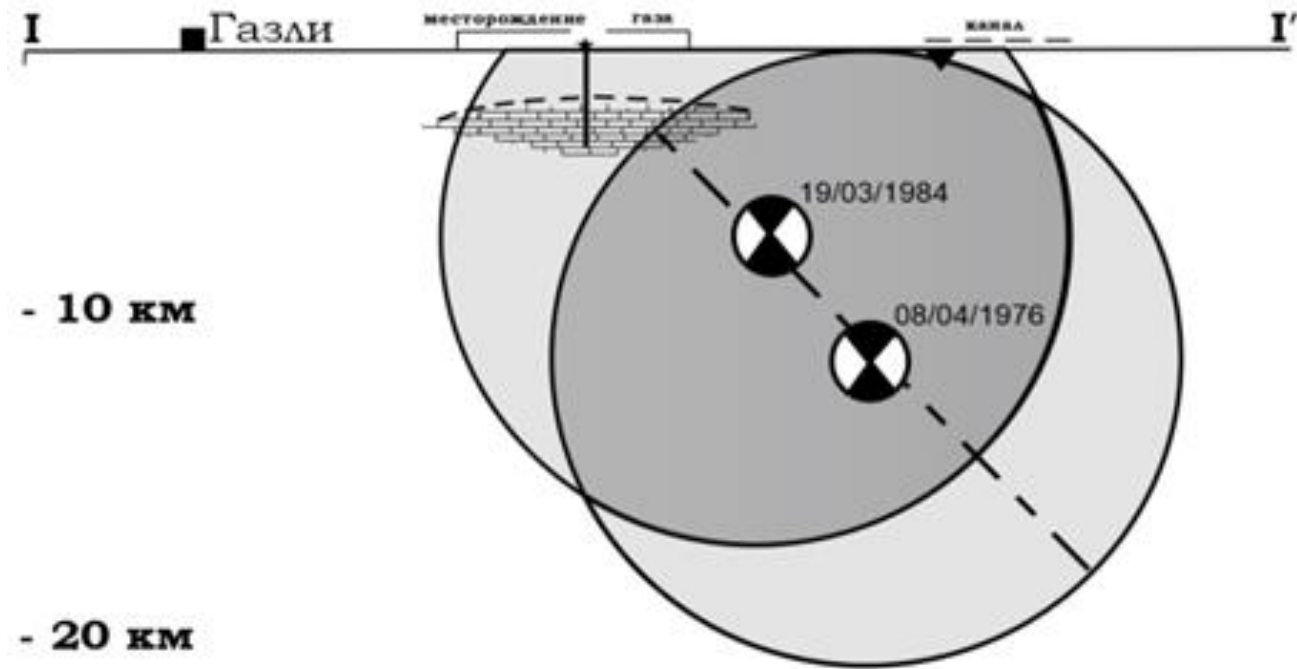
Принимая очаг как зону разрушений, получим, что накануне землетрясения земная кора находилась в предельно напряженном состоянии от поверхности до большой глубины.



Тектонофизическая схема землетрясения в Лорка, Испания, 2011, $M_w = 5.1$, $H = 3$ км (Авокас, 2012)



Землетрясения в Газли 1976 и 1984 гг



D. Simpson and W. Leith, 1985, +
R. Bossu et al., 1996, -

Тектонофизическая схема землетрясения в Gorkha, Непал, 2015, Mw = 7,8

G.R. Foulger et al.

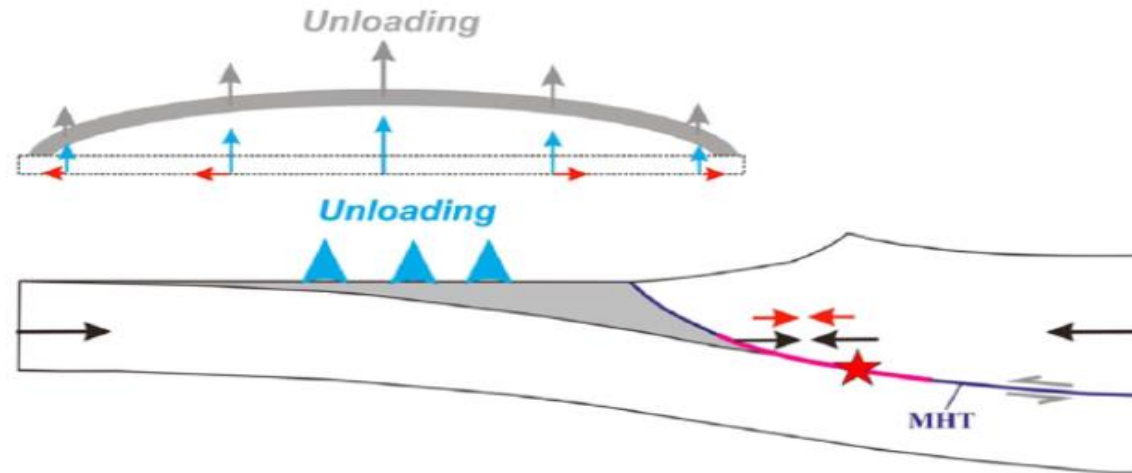


Fig. 18. Schematic diagram showing the effect of unloading by anthropogenic groundwater loss on the Main Himalayan Thrust. Dewatering induces a component of horizontal compression (red arrows) that adds to the secular interseismic contraction (black arrows) at seismogenic depths. Red star: the 2015 Gorkha, Nepal earthquake; pink line: the associated rupture.

(From Kundu et al. (2015)).

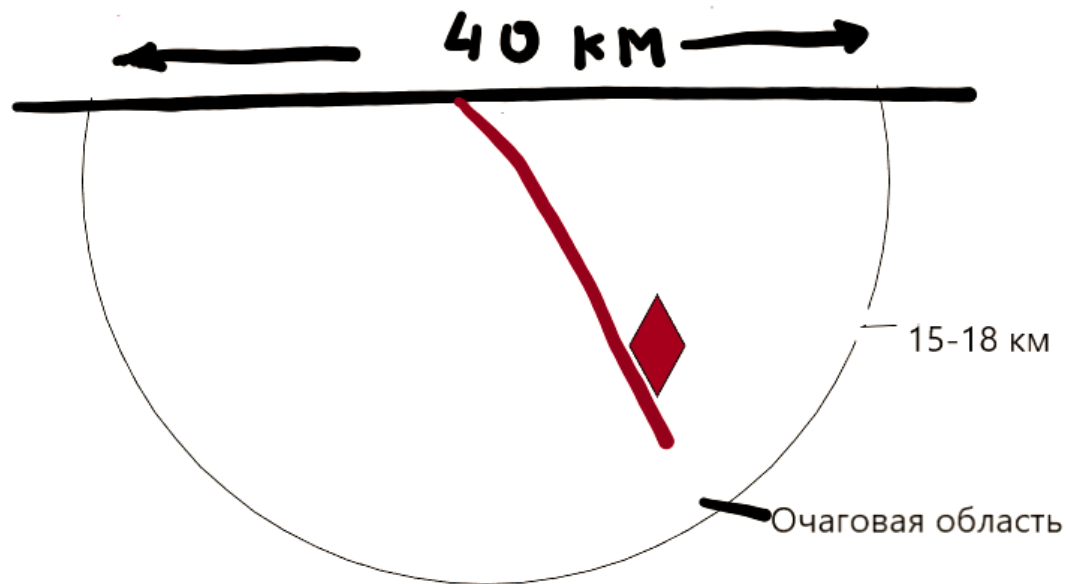
Нефтегорское землетрясение 1995 г.,

$M_w = 7-7.2$; $H = 18 \pm 3$ км (Иващенко А.И., 2015; Полец А.Ю., Злобин Т.К., 2015)



Схема зоны предельно напряженного состояния района Нефтегорского землетрясения

-



Соотношение глубин гипоцентров и размеров очагов сильных горных ударов и некоторых землетрясений

No	Event	Magnitude	H, depth of hypocenter, km	Source	R, size of focus zone, km	Ratio R/H
1	South Ural, 1990, Russia	E=10,5	0,25	Lovchikov, 2016	0,67	2,2
2	Lovozerk deposit, 1999, Russia	E=8,7	0,3	Lovchikov, 2016	0,79	2,6
3	Verhnekamsk deposit, Russia	E=10,1	0,3	Lovchikov, 2016	0,55	1,8
4	Bachat, 2013	$M_L = 6.1$	4-10	[45]	10	2.5-1
5	Sachalin, 1995	M=7	18-20	[60]	42	2
6	Gazly, gas deposit, 1976 and 1984	$M_s = 7$	10 (1984); 16 (1976)	[52]	42	3-4
7	Caviaga Gastfield, Italy, 1951	5.4	5	[61]	6	>1
8	Gorkha, Nepal earthquake	Mw = 7.8	15	[42, 56]	100 (20)	Till 5?

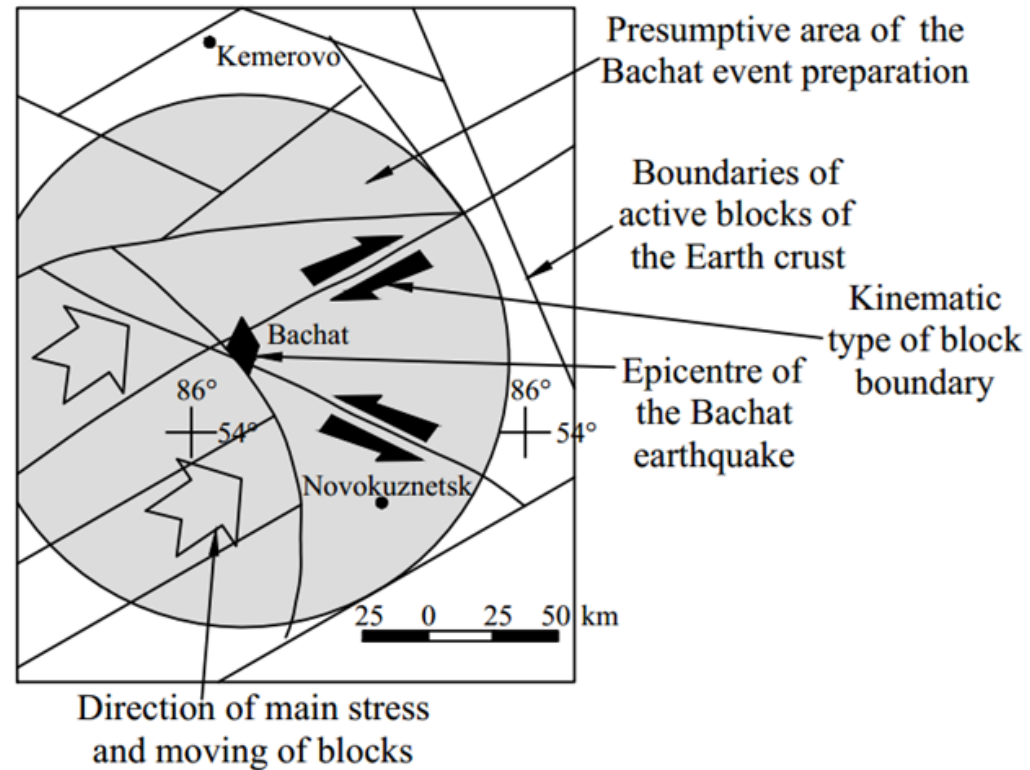
Из определения горного удара (Петухов И.М.)

Горный удар — это хрупкое разрушение предельно напряженной части пласта угля (породы), прилегающей к горной выработке, возникающее в условиях, когда скорость изменения напряженного состояния в этой части превышает предельную скорость релаксации напряжений в ней.

Размеры очагов и сила некоторых горных ударов

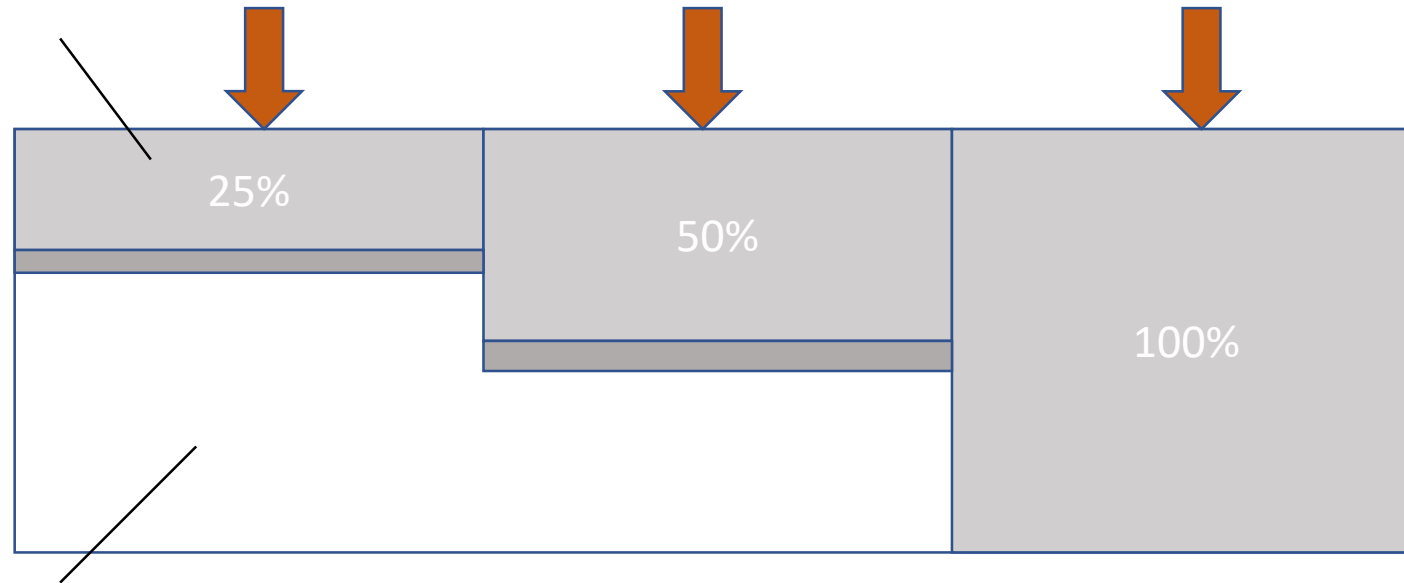
Месторождение	Год	Размер очага	Характеристика
Южный Урал	1990	$L = 1,2 \text{ km}$, $S = 45 \text{ га}$	$E = 10,5$
Кольский п-ов	1999	$L > 1 \text{ km}$	$E = 8,7$ (Lovchikov, 2016)
Верхнекамское	1995	$L = 1,1 \text{ km}$	$10,1$ (Lovchikov, 2016)
Бачатское	2013	$L > 10 \text{ km}$	$ML = 6,1$ (Emanov, 2014)

Зона подготовки Бачатского землетрясения соразмерна крупным блокам земной коры



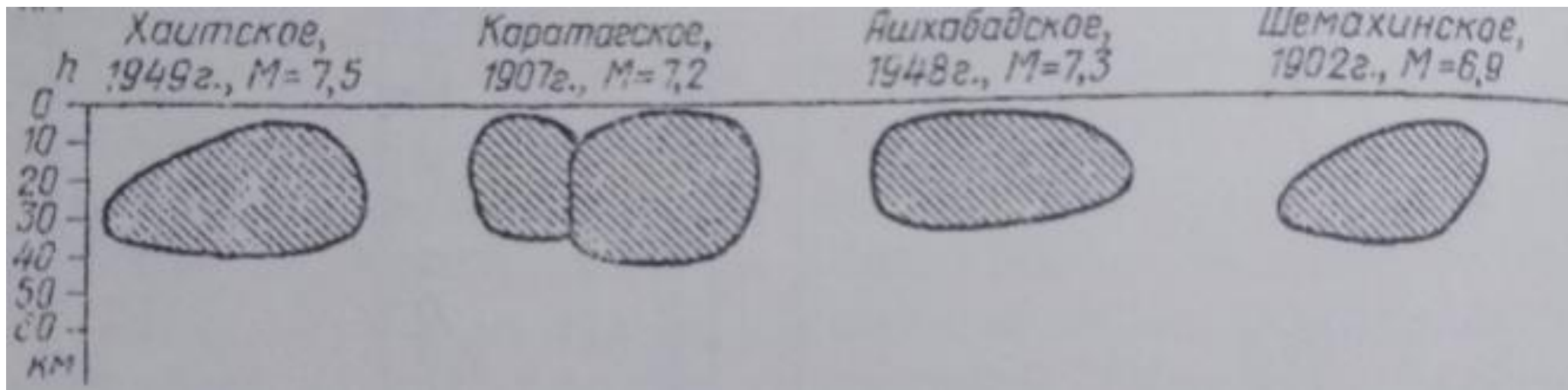
При одинаковом воздействии на земную поверхность реакция земной коры может быть разной

The zone of critical stress state

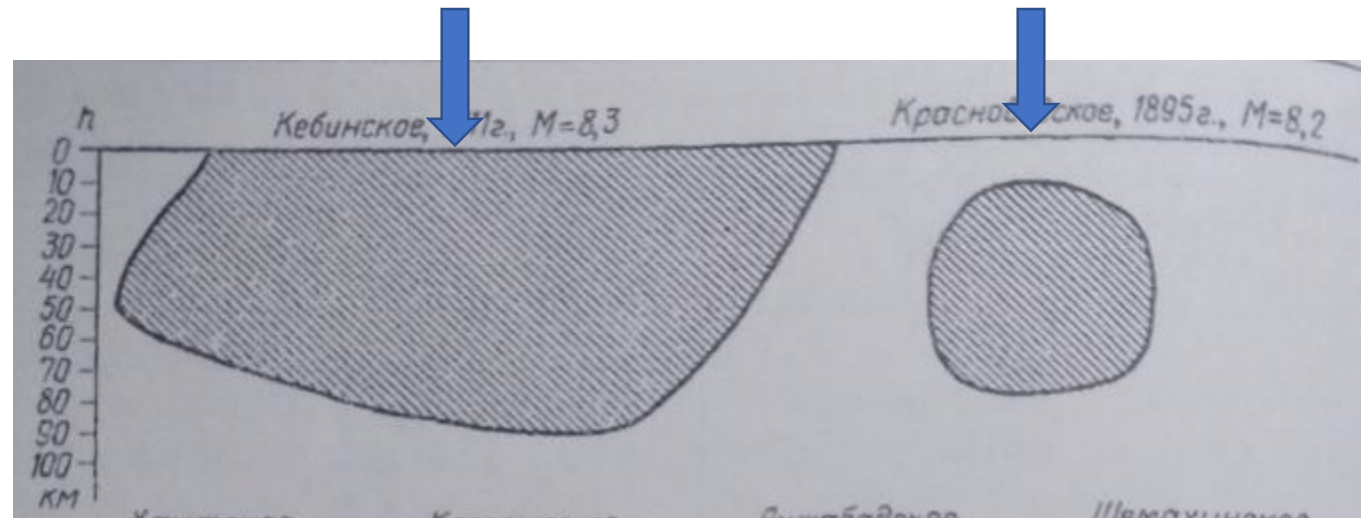


Earth's crust

Из кн. Никонова А.А. Положение очагов
сильнейших землетрясений (по Н.В. Шебалину)



Положение очагов сильнейших землетрясений (по Н.В. Шебалину)



Вывод

Представления о предельно напряженном состоянии массива горных пород и земной коры в целом могут быть использованы для оценки опасности возникновения техногенных землетрясений в индустриальных районах.

Спасибо за внимание !

1. A. Batugin, (2021) A proposed classification of the Earth's crustal areas by the level of geodynamic threat, *Geodesy and Geodynamics*, 12 (1) pp. 21-30. <https://doi.org/10.1016/j.geog.2020.10.002>

2. Батугин А.С. Общие закономерности проявления сильных горных ударов и техногенных землетрясений на участках земной коры с предельно напряженным состоянием // *Горный журнал*, 2021, №1. С. 22-27. Doi 10.17580/gzh.2021.01.04

3. Batugin A. Critically Stressed Areas of Earth's Crust as Medium for Man-caused Hazards / *E3S Web of Conferences*, 56, 02007 (2018) <https://doi.org/10.1051/e3sconf/20185602007>