



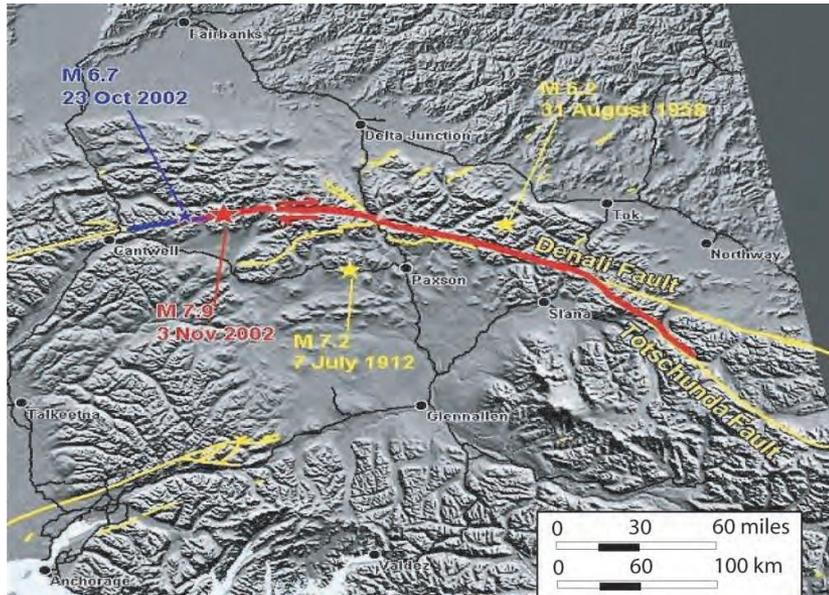
Эволюция параметров акустических импульсов в ходе лабораторного сейсмического цикла

Алексей А. Остапчук, Ксения Г. Морозова

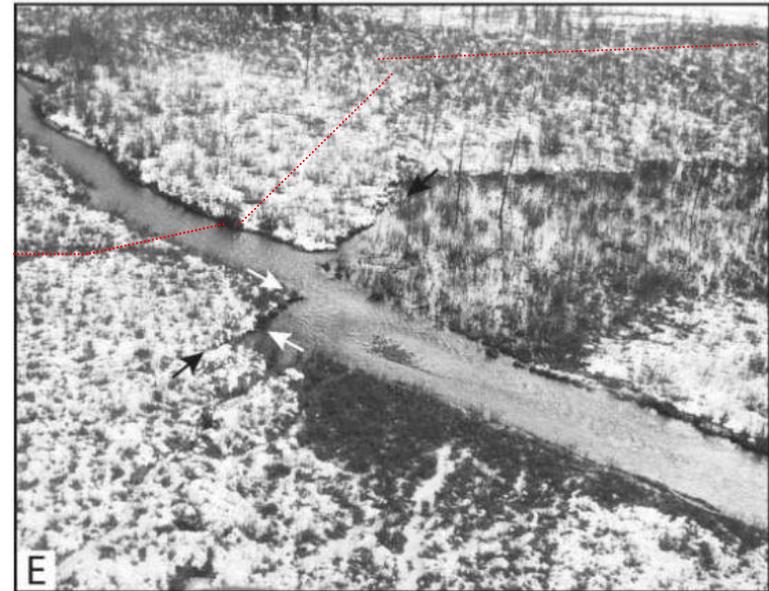
*Институт динамики геосфер им. академика М.А. Садовского
Российской академии наук*

16 октября 2019, Пермь

Структуру деформационных процессов, происходящих в окрестности сейсмогенного разлома, с известной долей условности можно разделить на две подобласти, едва пересекающиеся во времени и пространстве. Первая – процессы, связанные с подготовкой землетрясения. Вторая – скольжение по разлому.



Изучаются процессы, детерминированные эволюцией соответствующего участка коры: особенности напряженно-деформированного состояния, процесс накопления энергии деформации, трансформацию характеристик среды, деформационных и гидрогеологических процессов, параметров физических полей в ближней и дальней окрестности будущего разрыва.



Изучается процесс скольжения по разлому: условия зарождения, распространения и остановки разрыва, деформационные события, происходящие на разных масштабных уровнях – от перемещений геоблоков, до образования нанокристаллов в зеркалах скольжения, влияние на характер скольжения прочностных, фрикционных, реологических свойств материала, структуры разломной зоны, ее флюидодинамики и т.д.

Структуры разломов

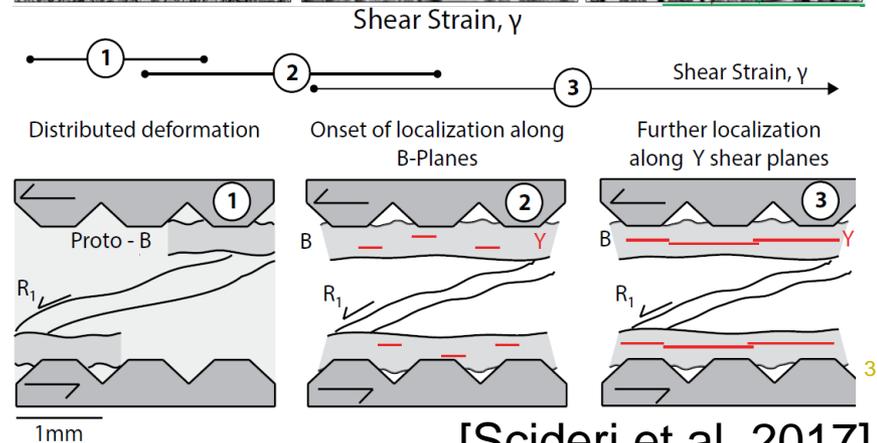
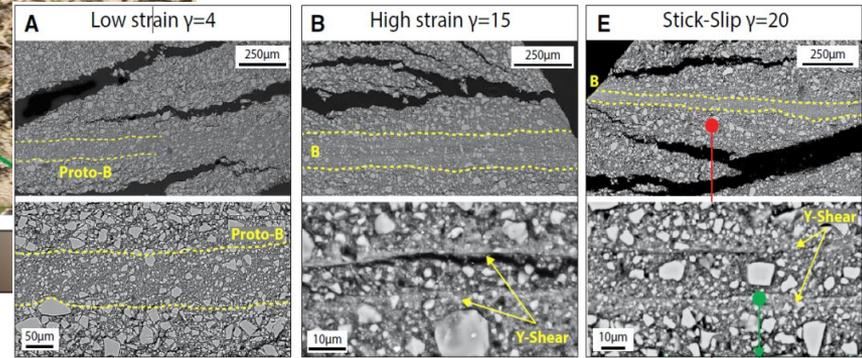
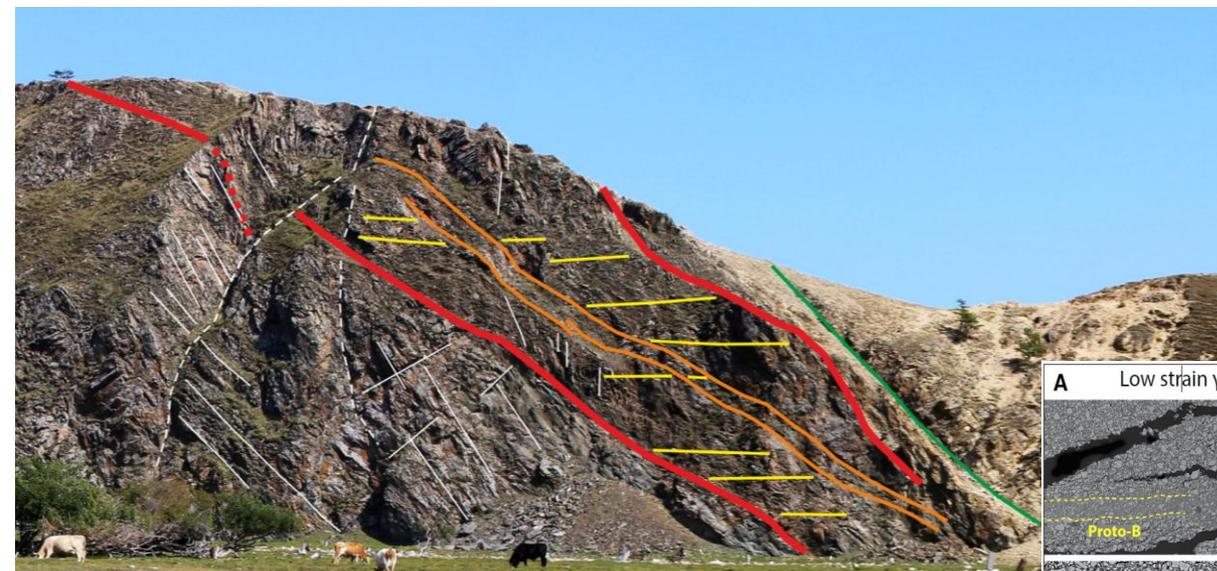


Схема проведения лабораторных экспериментов

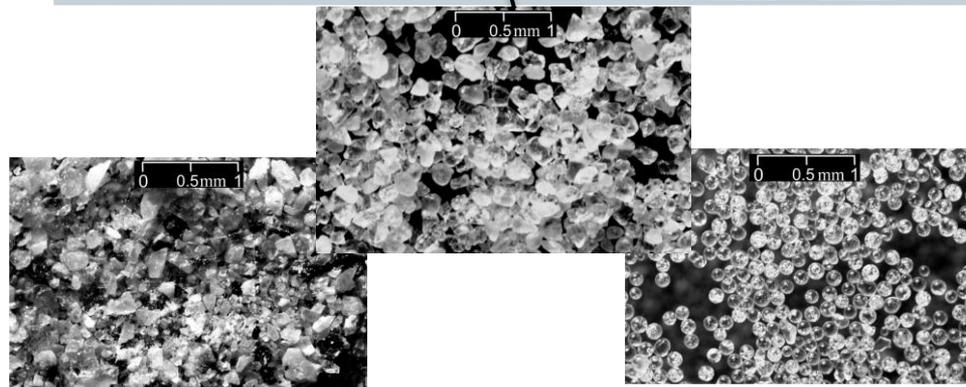
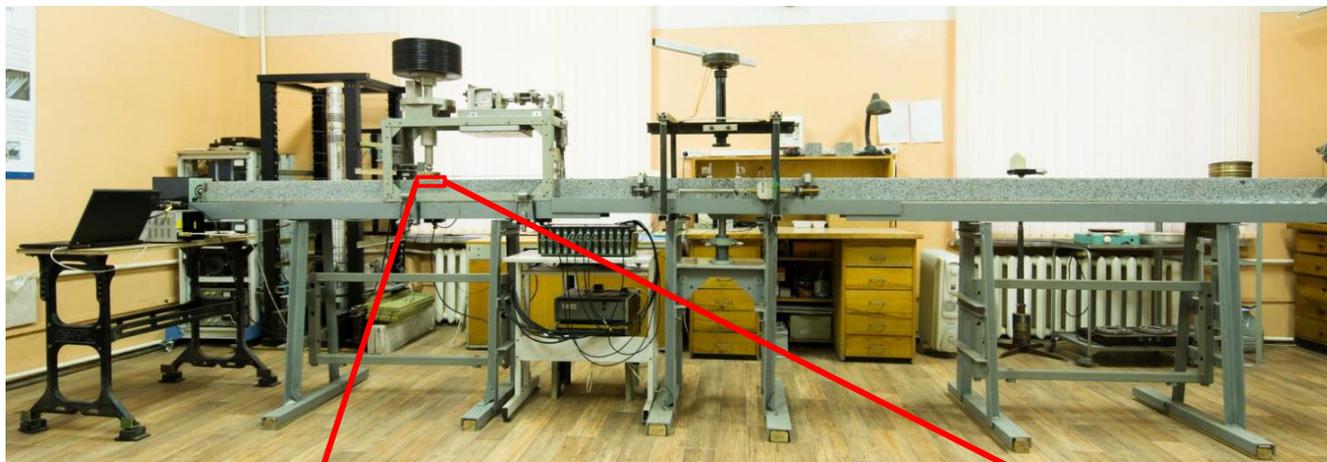
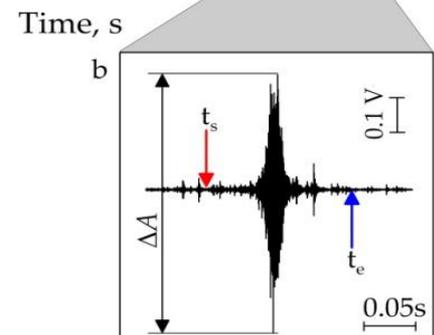
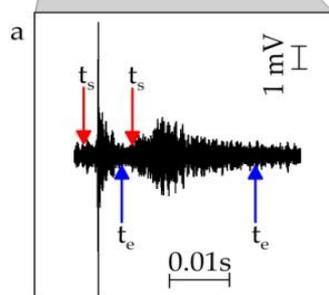
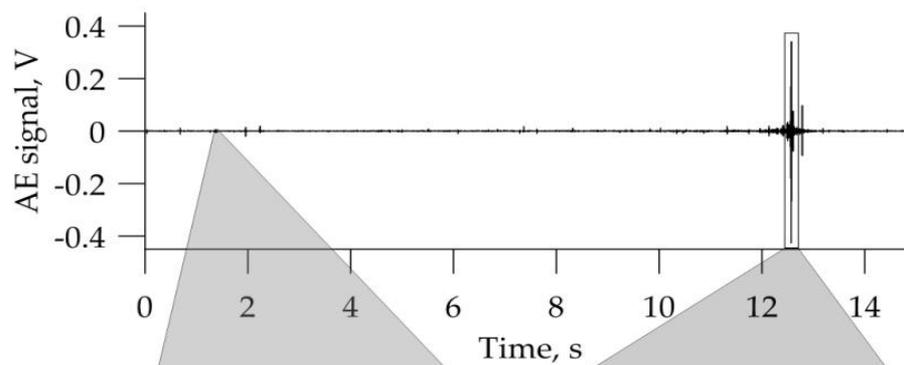
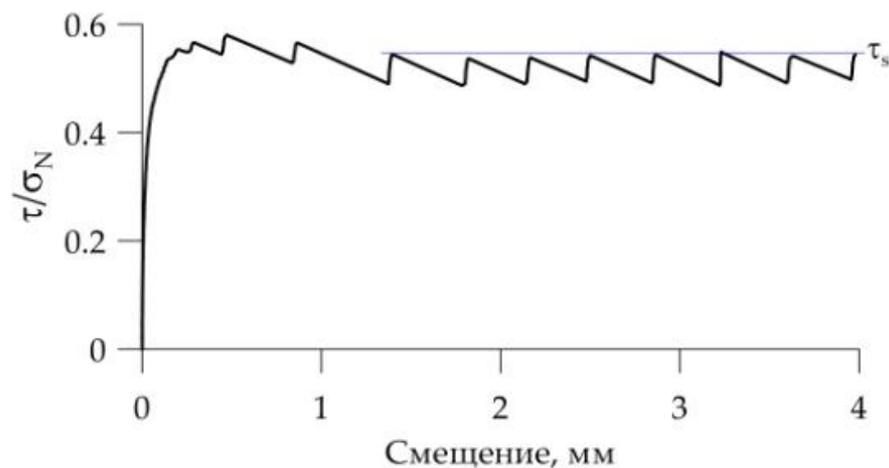
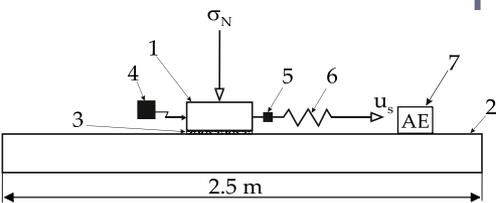
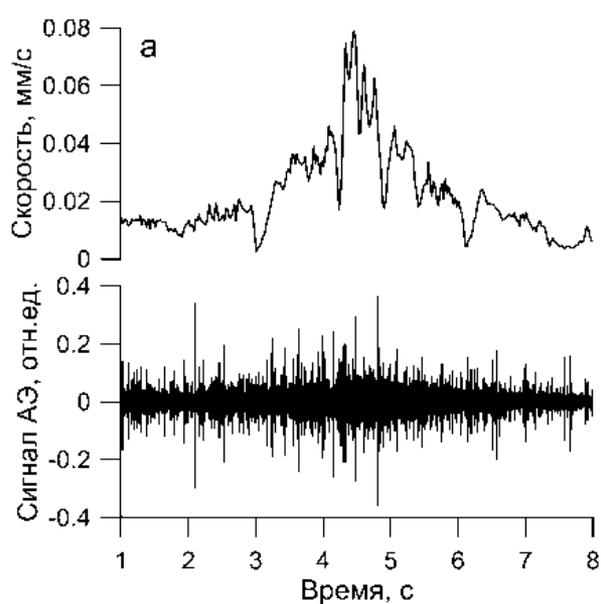


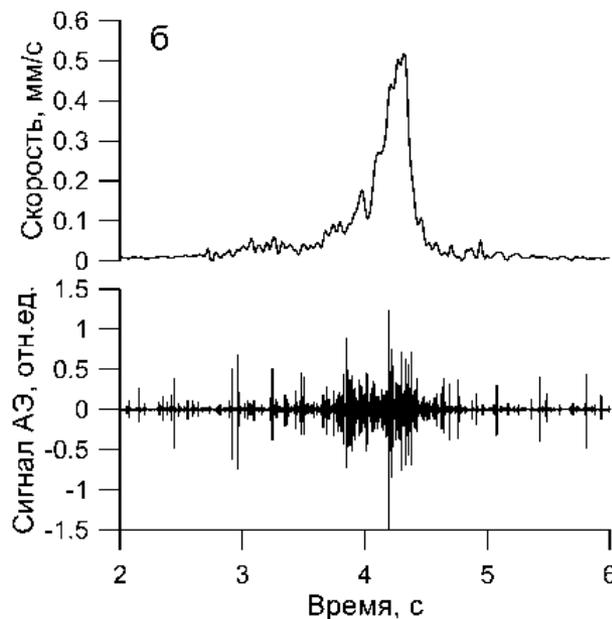
Схема проведения лабораторных экспериментов



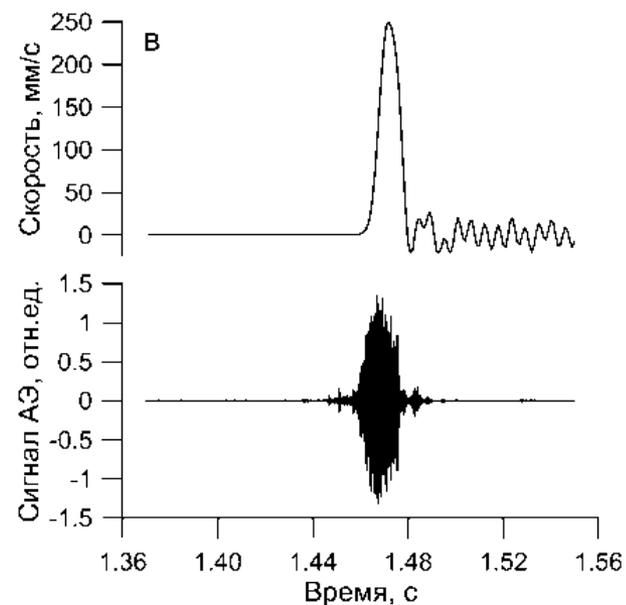
Моды скольжения модельного разлома



Эпизод ускоренного
крипа (С)

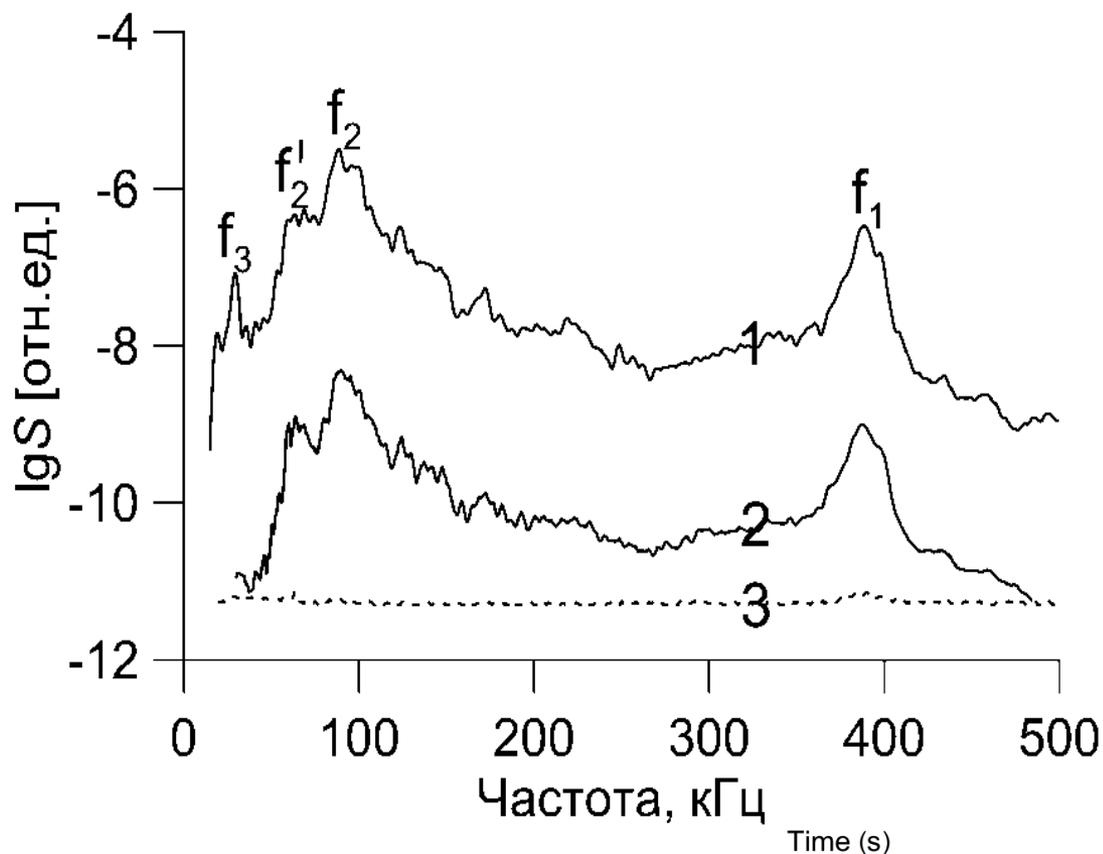


Медленная подвижка
(SS)



Динамический срыв
(DF)

Моды скольжения модельного разлома



1- динамический срыв

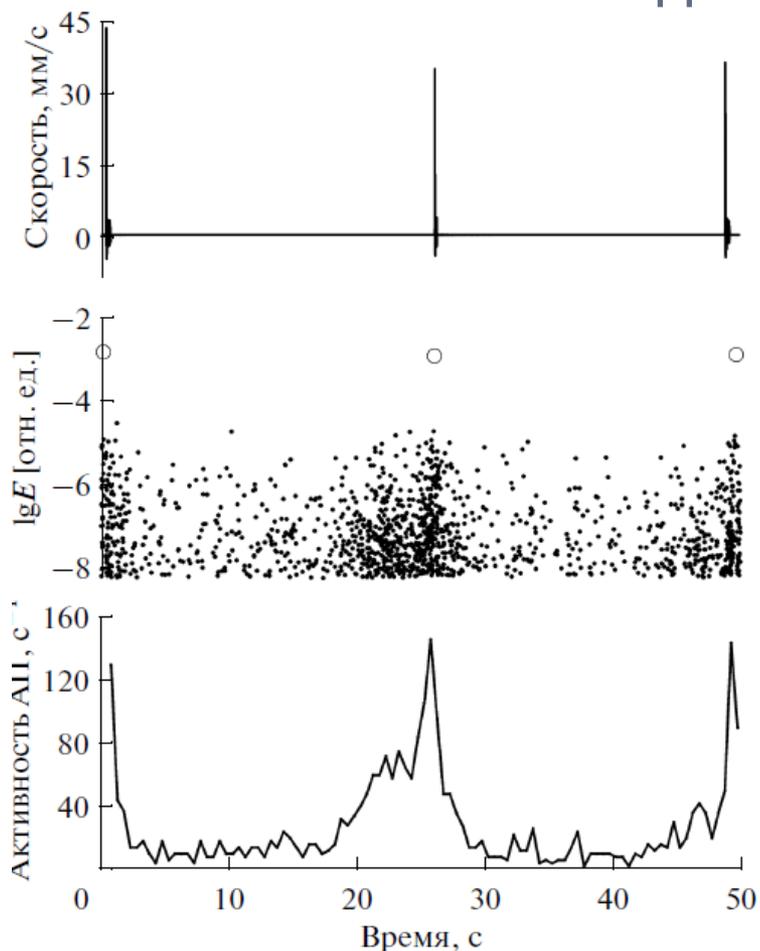
2- эпизод ускоренной ползучести

3- фоновый шум

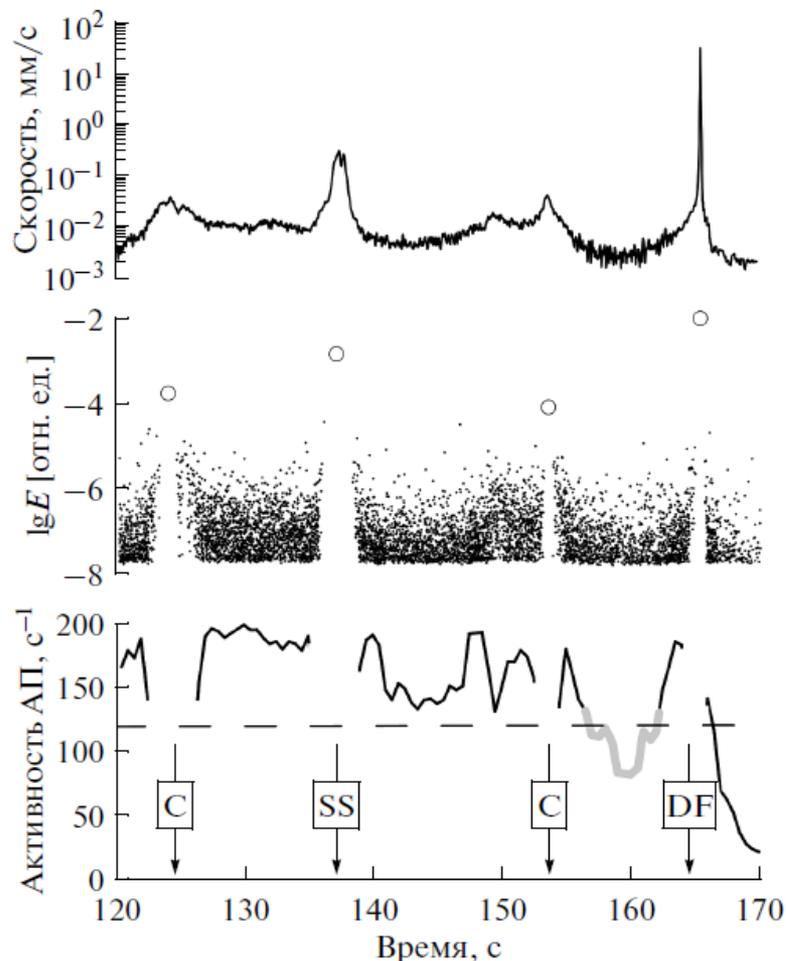
$$f_1 = 386 \pm 3 \text{ кГц}, f_2 = 90 \pm 2 \text{ кГц}, f_3 = 29 \pm 1 \text{ кГц}.$$

f_1 соответствует толщине гранулированного слоя
 f_2 и f_3 соответствуют длине и высоте подвижного блока

Динамика излучения АЭ в процессе скольжения модельного разлома

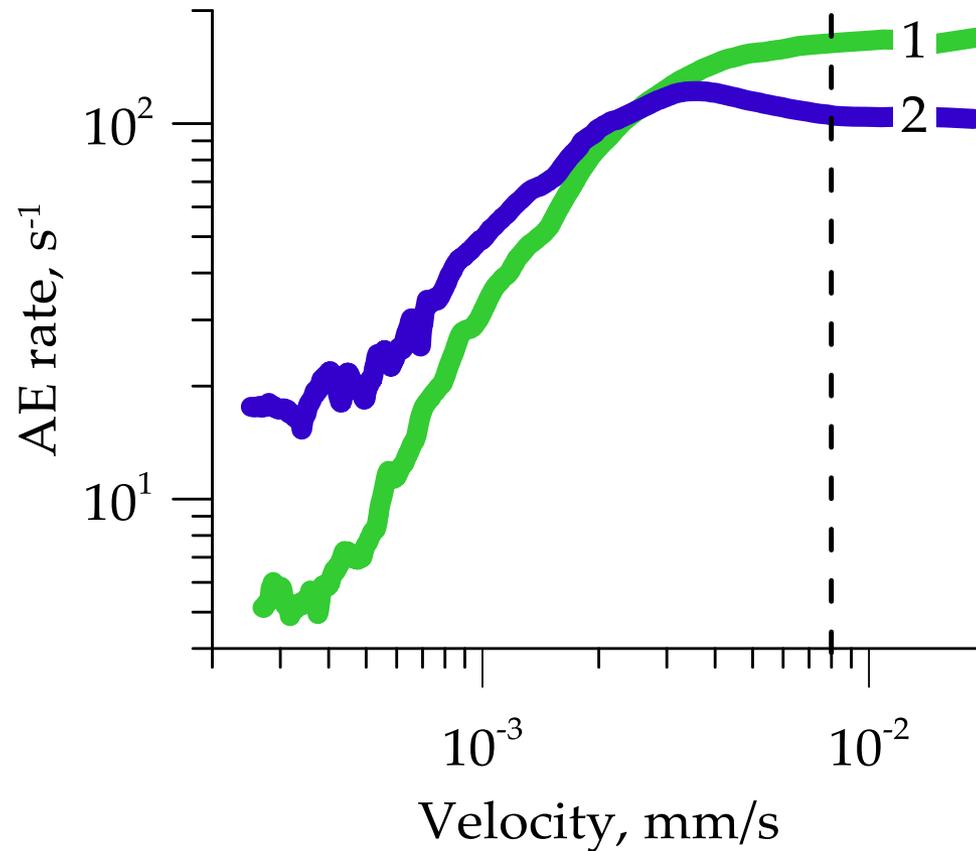
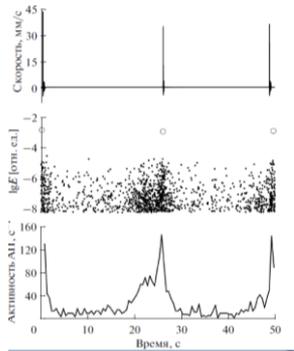


Регулярный стик-слип



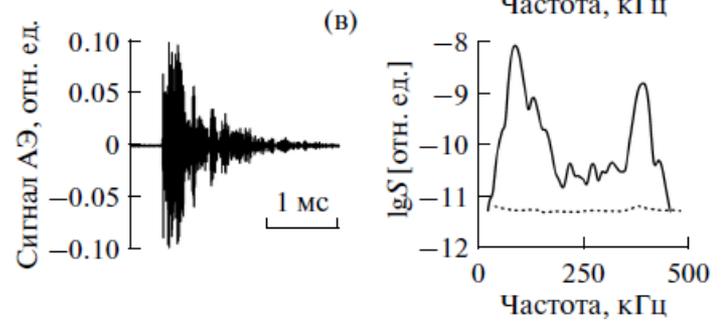
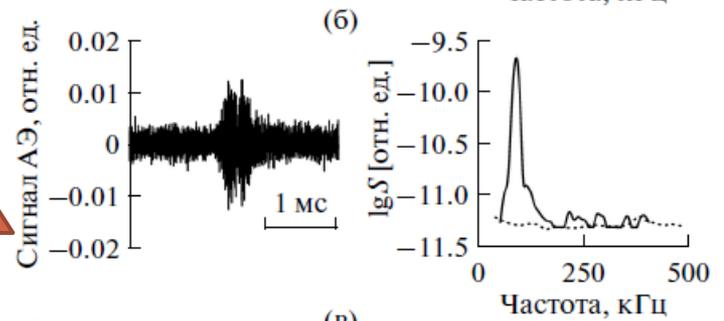
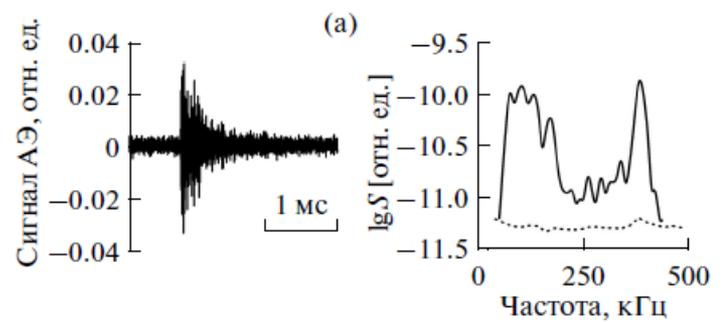
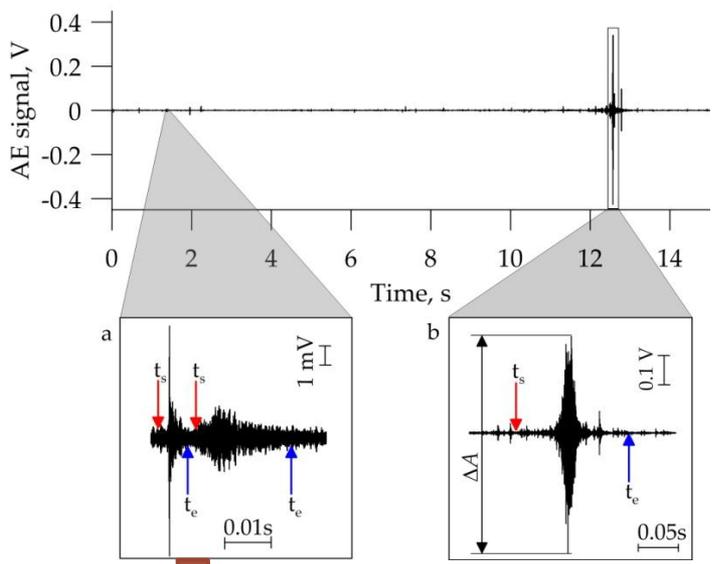
Аперiodические срывы

Динамика излучения АЭ в процессе скольжения модельного разлома

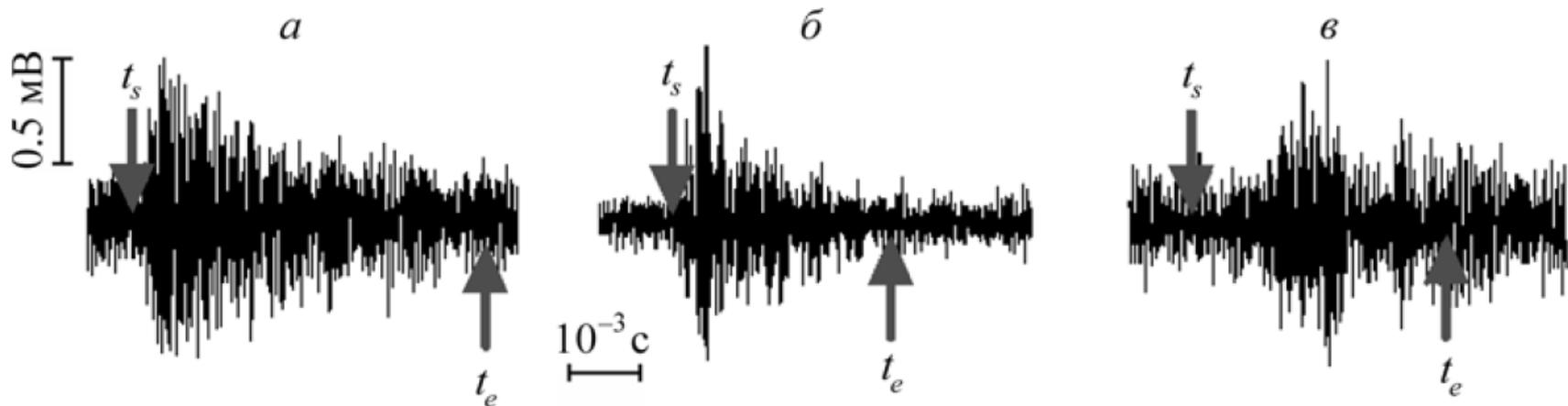


$$n(u) = a \cdot u^m + n_{\min}$$

Структура АЭ в процессе сдвигового деформирования разлома



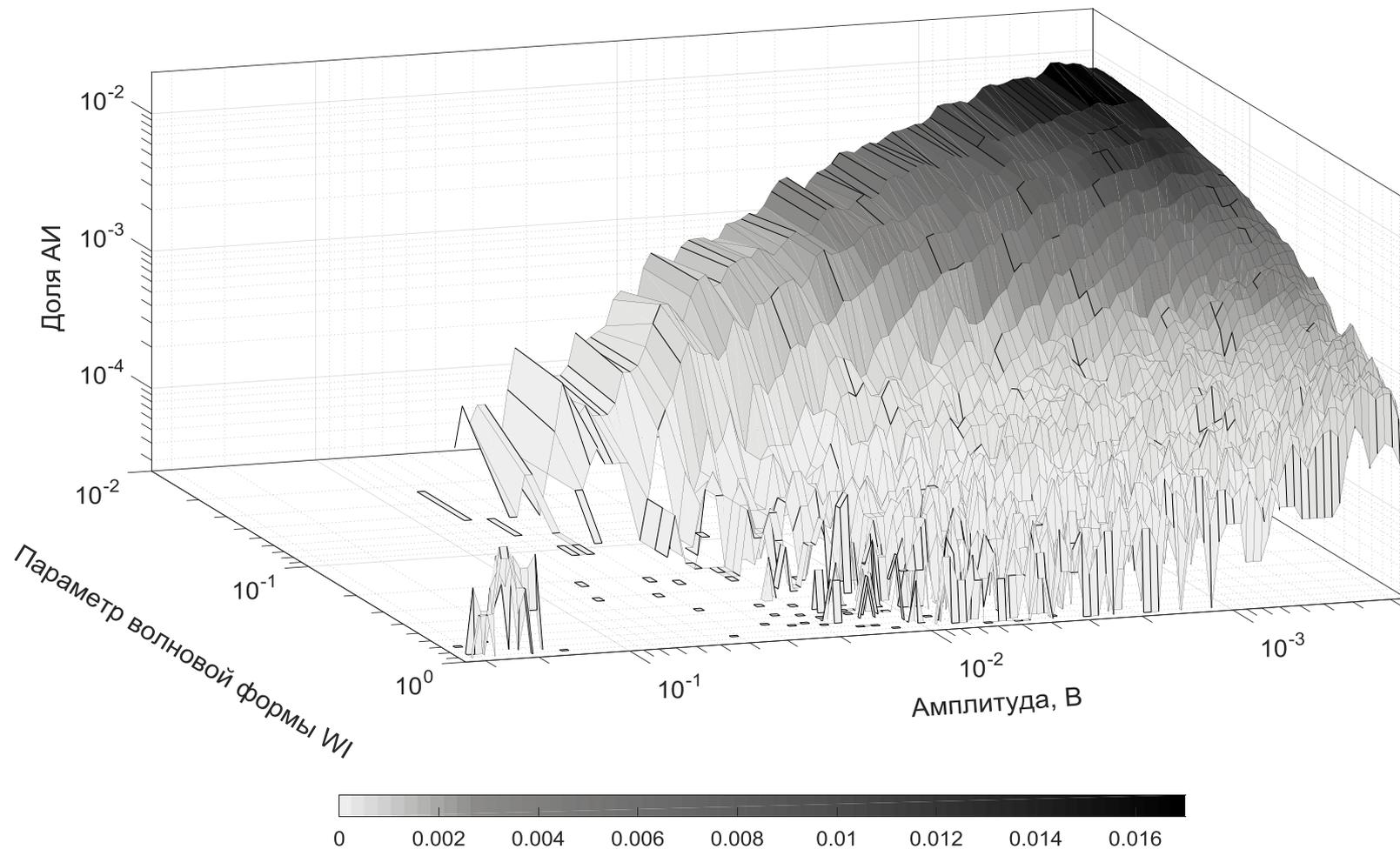
Структура АЭ - параметр волновой формы



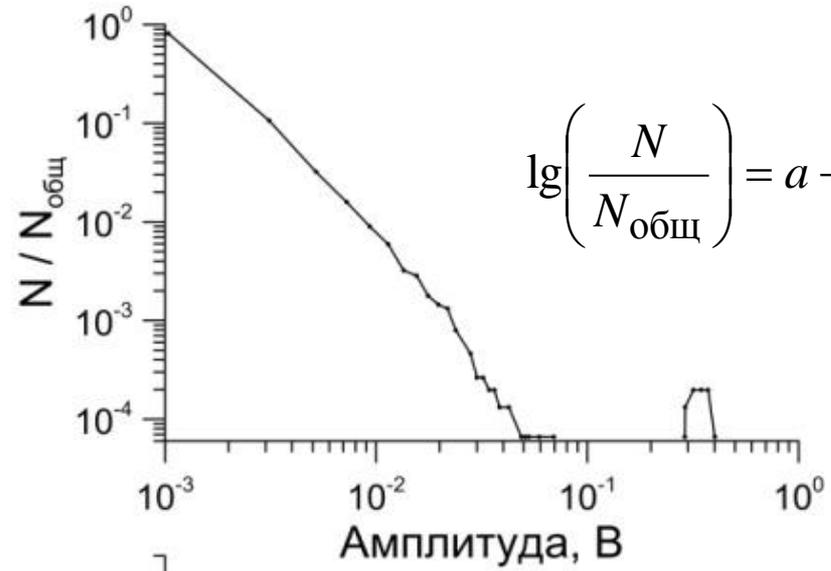
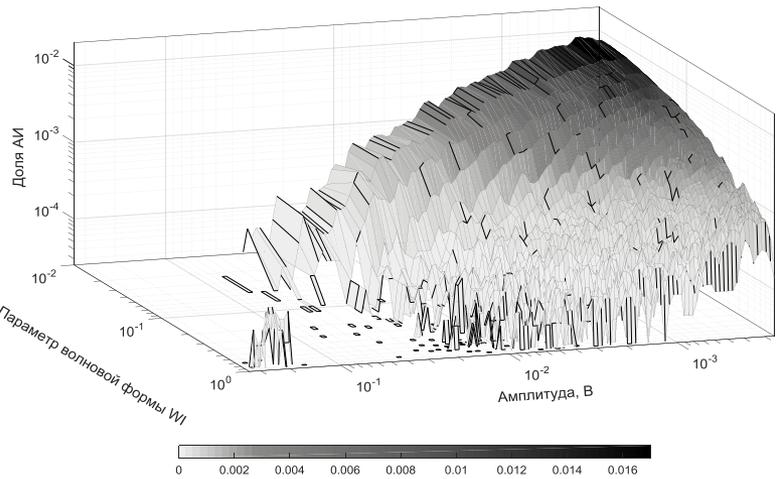
$$WI = \frac{(t_{\max} - t_s)}{(t_e - t_{\max})}$$

Согласно Shiotani et.al. [2001] волновая форма АЭ характеризует механизм трещинообразования. АЭ с волновой формой с резким вступлением (низкие значения WI) характерны для трещин отрыва, а события с плавным вступлением (высокие значения WI) – для трещин сдвига.

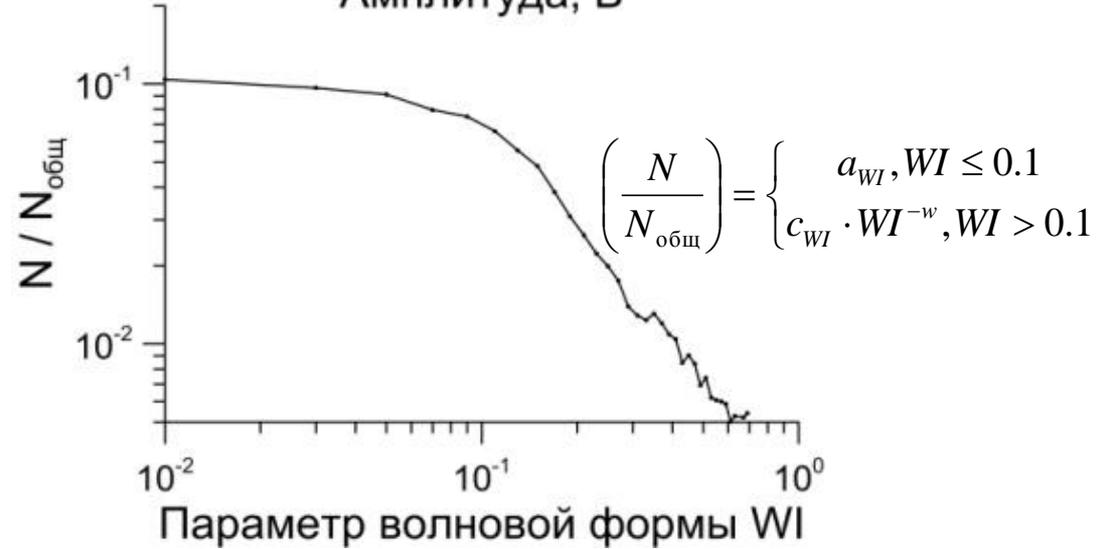
Двумерное распределение по амплитуде АЭ (A_s) и параметру волновой формы (WI)



Двумерное распределение по амплитуде АИ (As) и параметру волновой формы (WI)

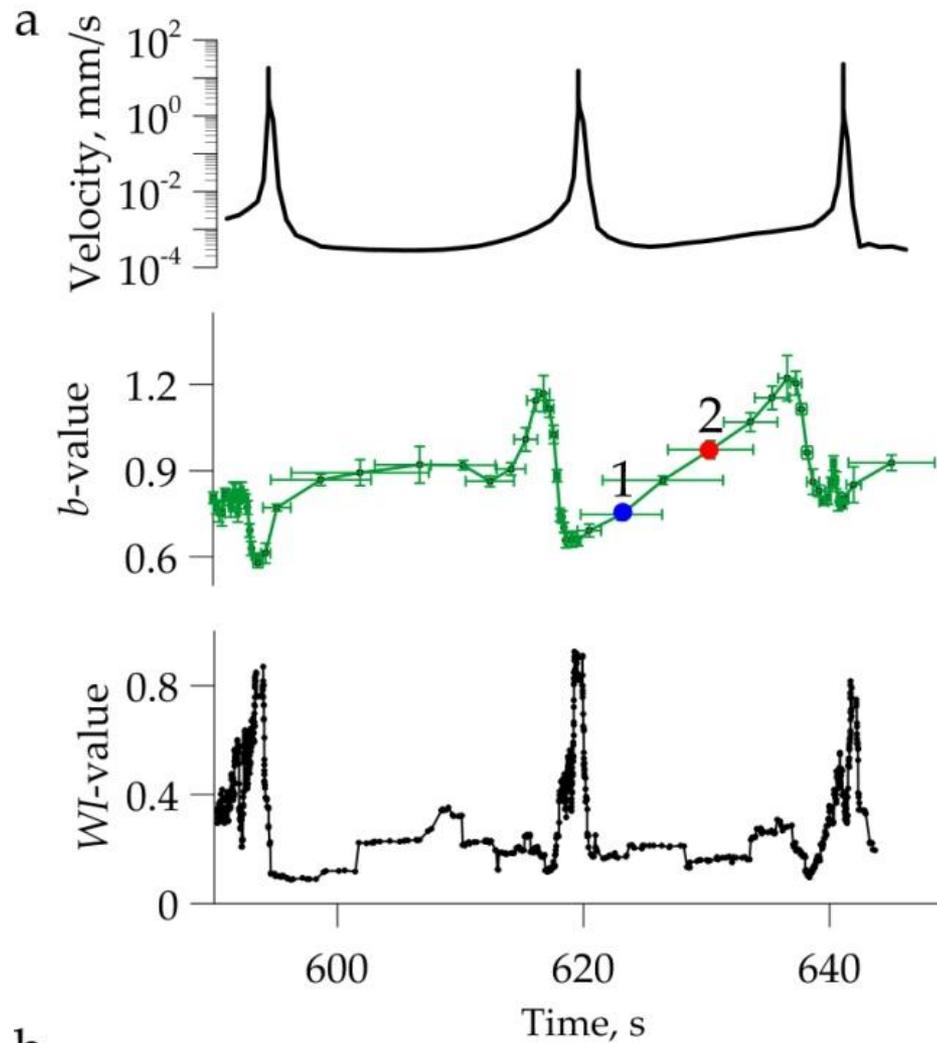


$$\lg\left(\frac{N}{N_{\text{общ}}}\right) = a - b \lg(A_s)$$

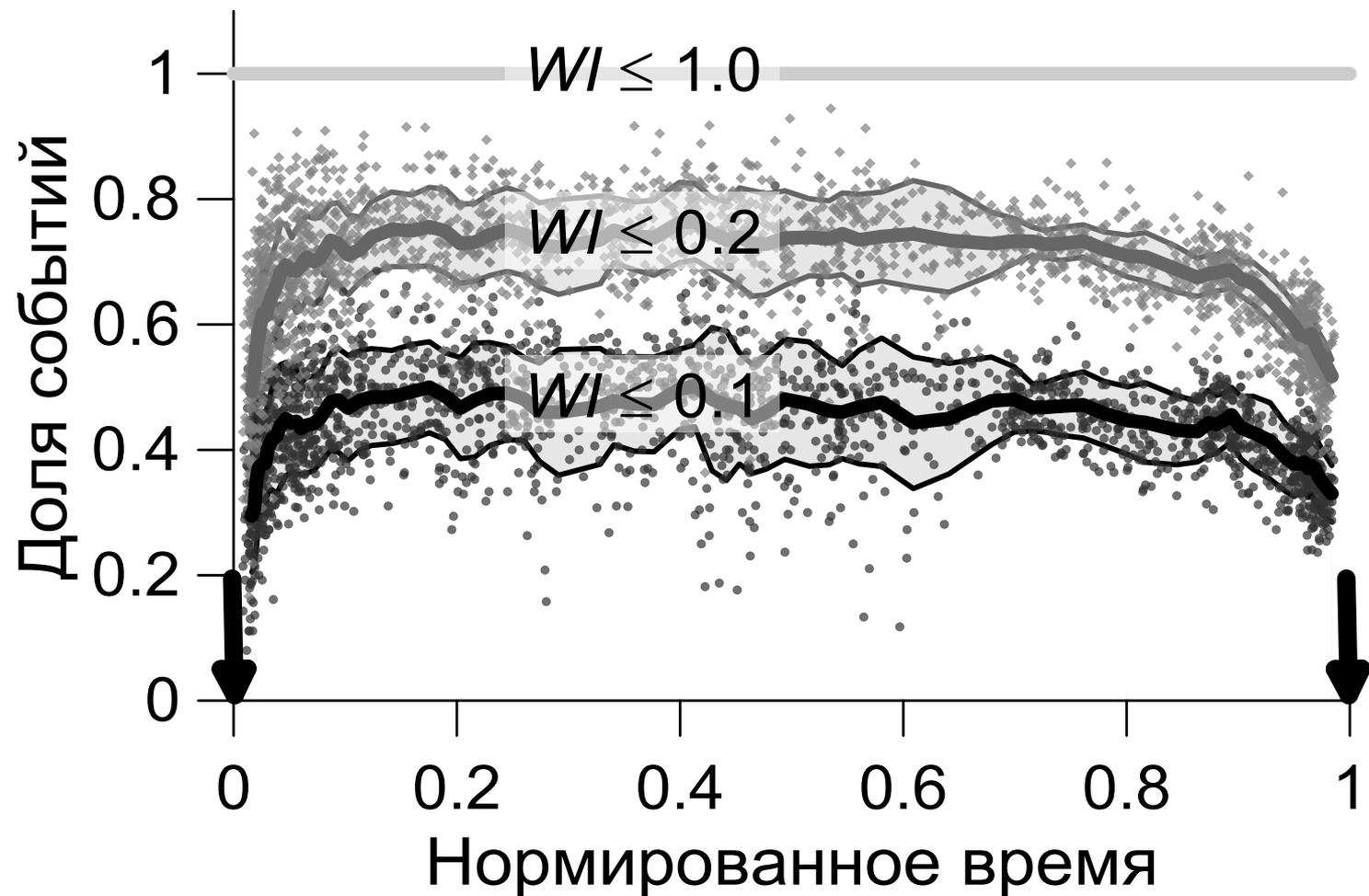


$$\left(\frac{N}{N_{\text{общ}}}\right) = \begin{cases} a_{WI}, WI \leq 0.1 \\ c_{WI} \cdot WI^{-w}, WI > 0.1 \end{cases}$$

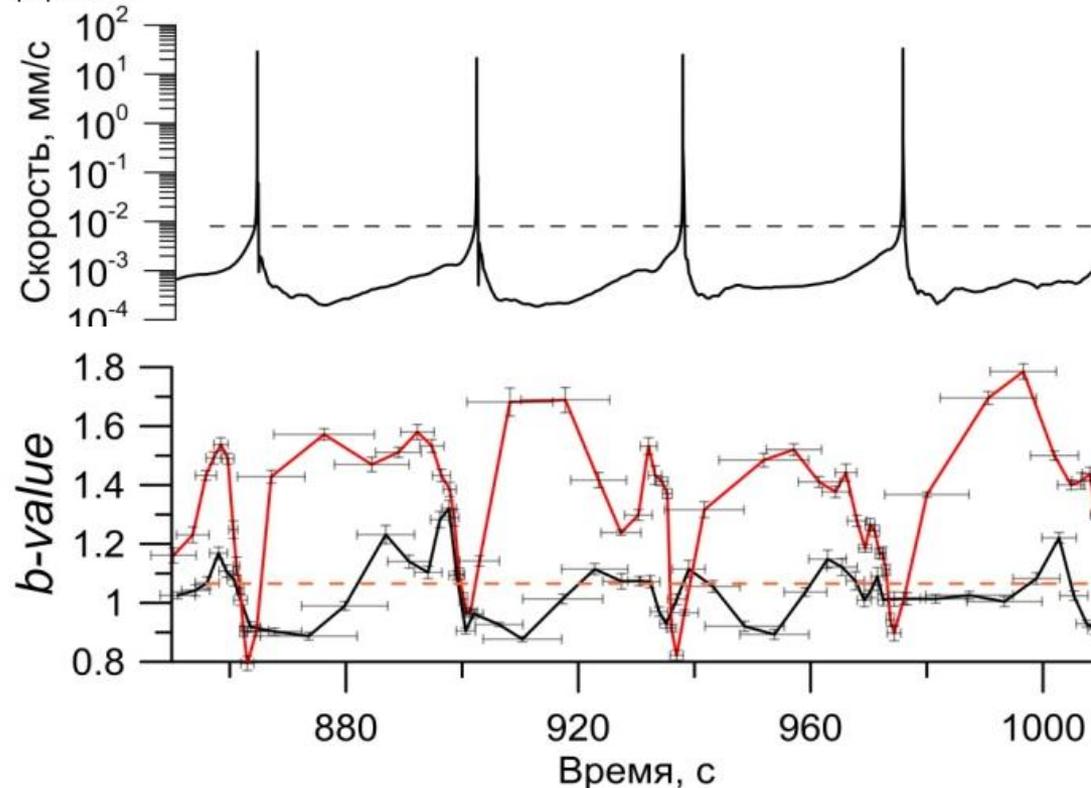
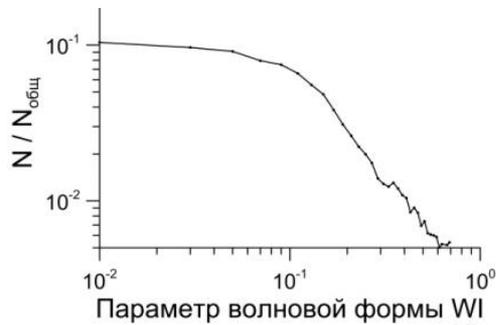
Эволюция параметров АЭ в ходе лабораторного сейсмического цикла



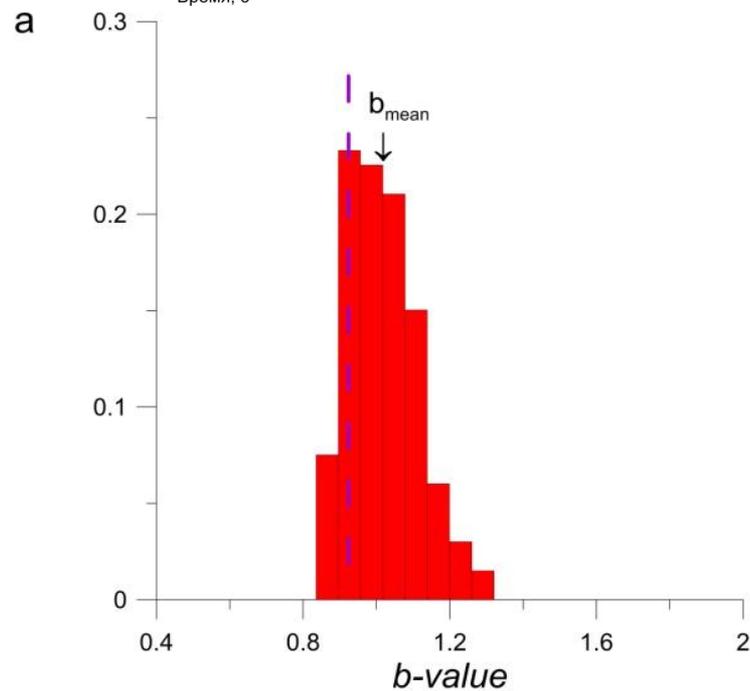
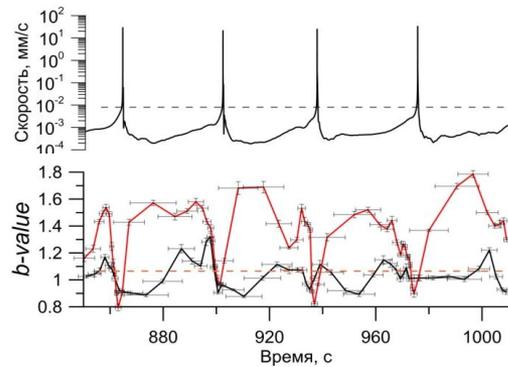
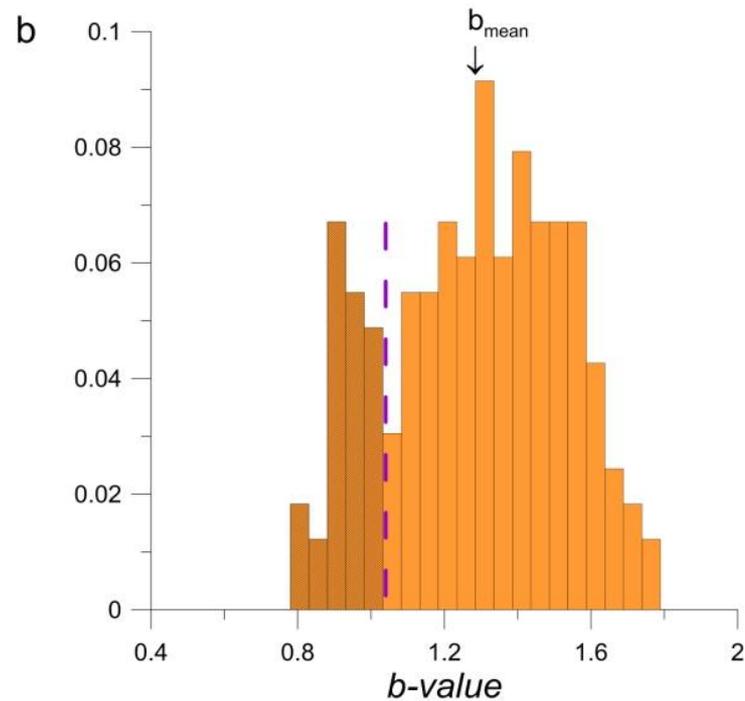
Эволюция структуры АЭ в процессе лабораторного сейсмического цикла



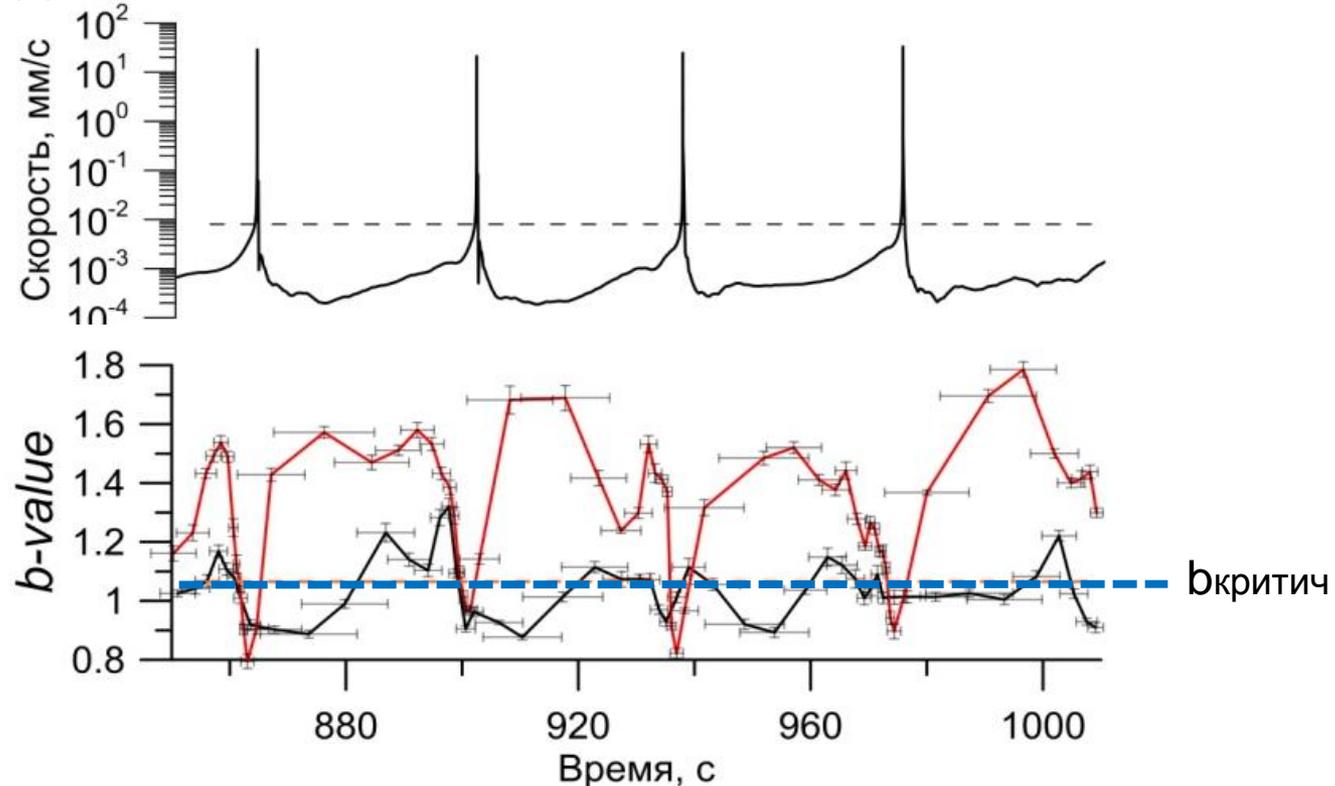
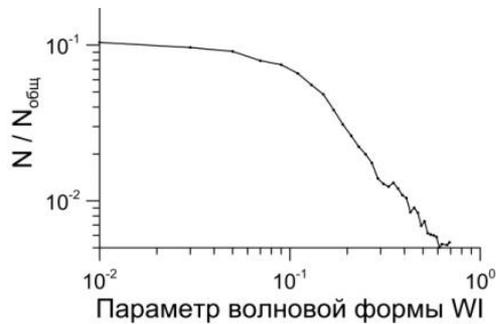
Кластеризация АЭ по параметру волновой формы



Кластеризация АЭ по параметру волновой формы

 $WI < 0.1$  $WI > 0.1$

Кластеризация АЭ по параметру волновой формы

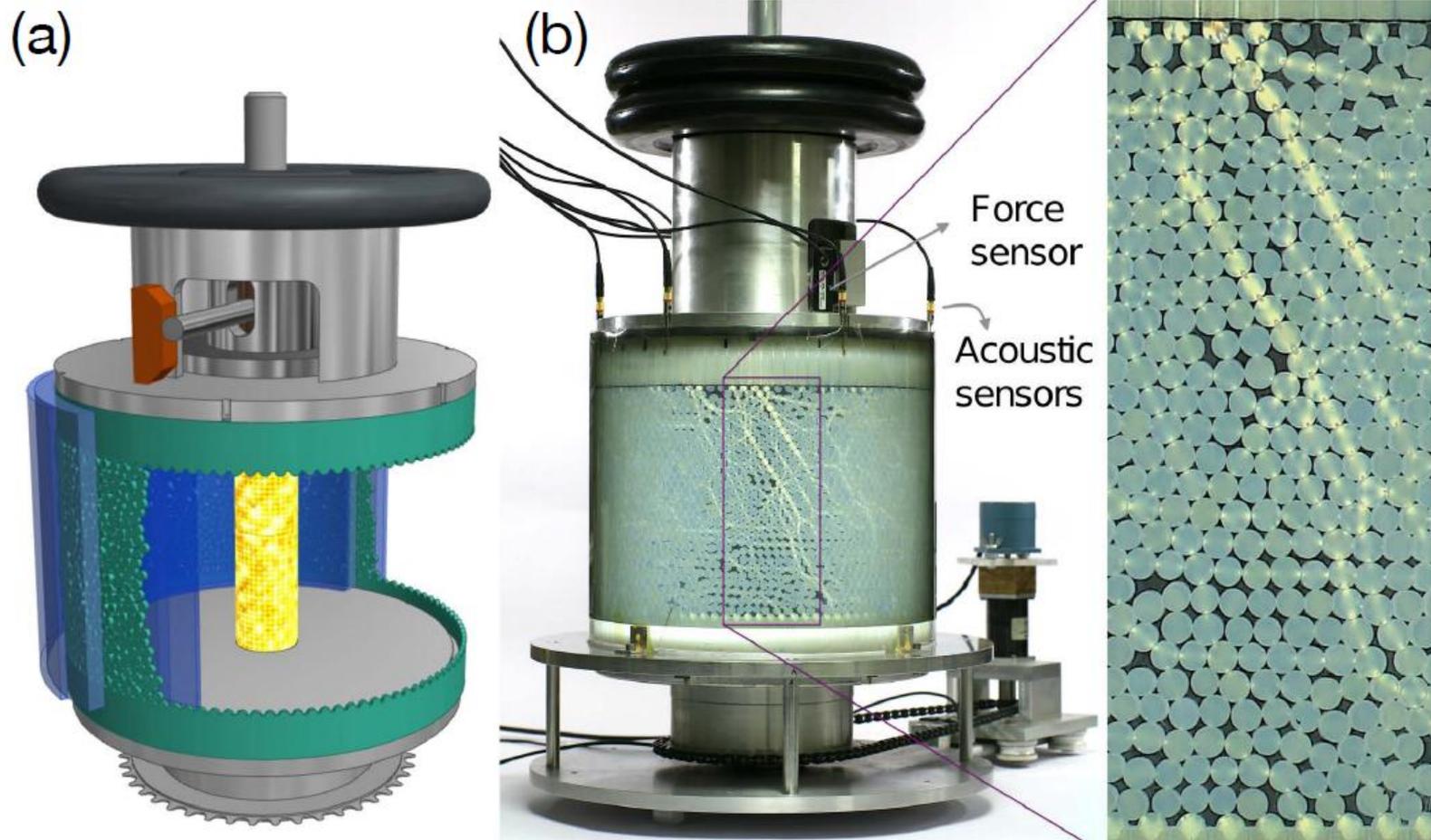


Достоверность метода кластеризации АЭ по параметру волновой формы

Заполнитель Разлома	Срыв со снижением ($\Delta t, c$)	Пропуск срыва	Ложные снижения ($\Delta t, c$)
0	51 (2.7±0.5)	6	0 (-)
10	28(3±1)	15	8 (1.4±0.5)
20	29 (4±1)	4	2 (1.9±0.5)
35	23 (4±2)	6	16 (1.5±0.6)
50	20 (3±2)	4	1 (1.2)
60	16 (5±3)	5	0 (-)
Σ	167 (3.6±1.4)	40	27 (2.1±0.7)
	80%	20%	-

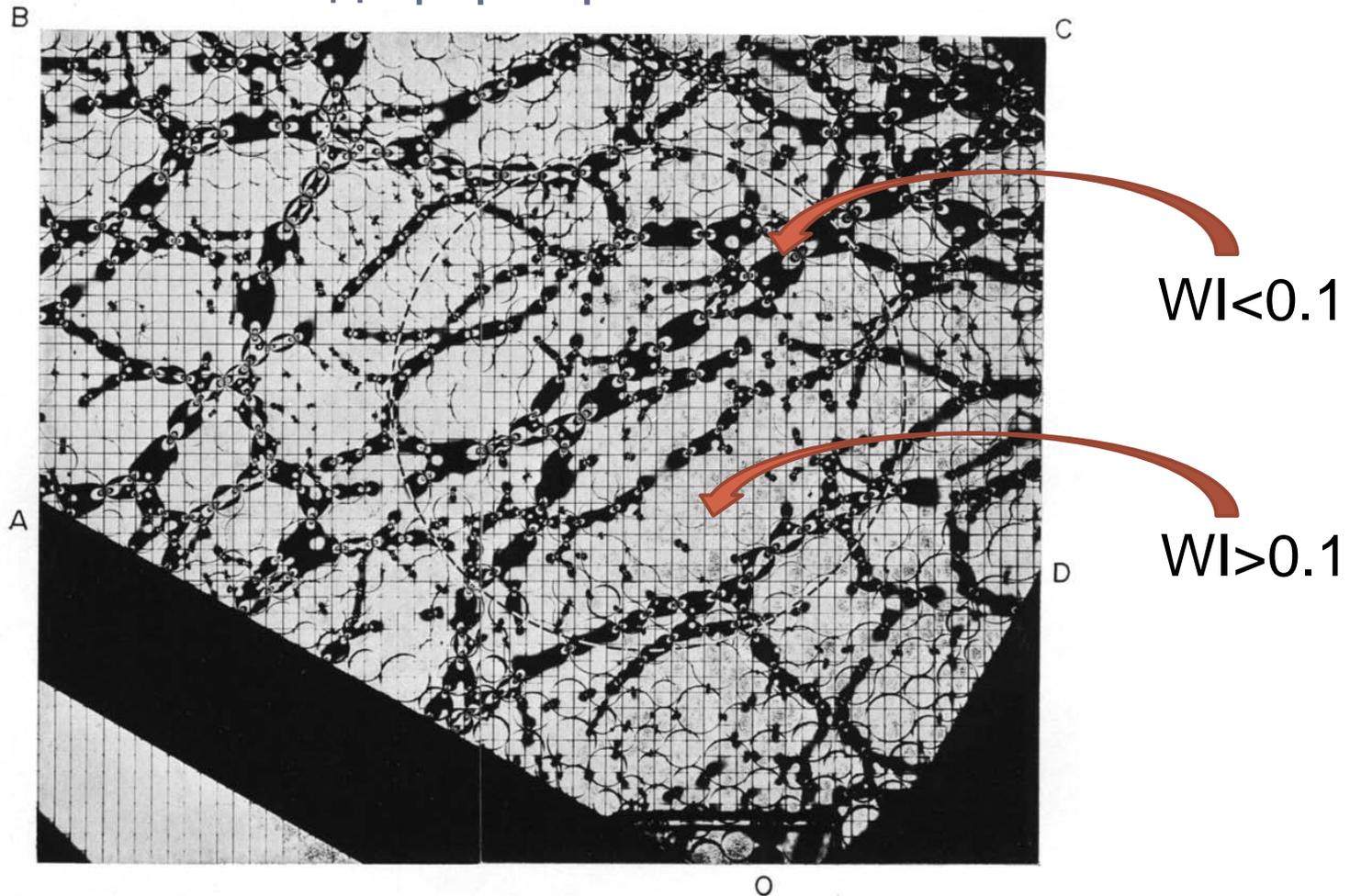
- “срыв со снижением” – ситуация, при которой динамическому срыву соответствует снижение параметра b-value;
- “ пропуск срыва” - динамический срыв произошел, но параметра не опустился ниже $b_{\text{критич}}$;
- “ложное снижение” – снижение параметра b-value ниже уровня, которое не соответствует ни одному динамическому срыву.

Формирование «силового скелета» в процессе сдвигового деформирования



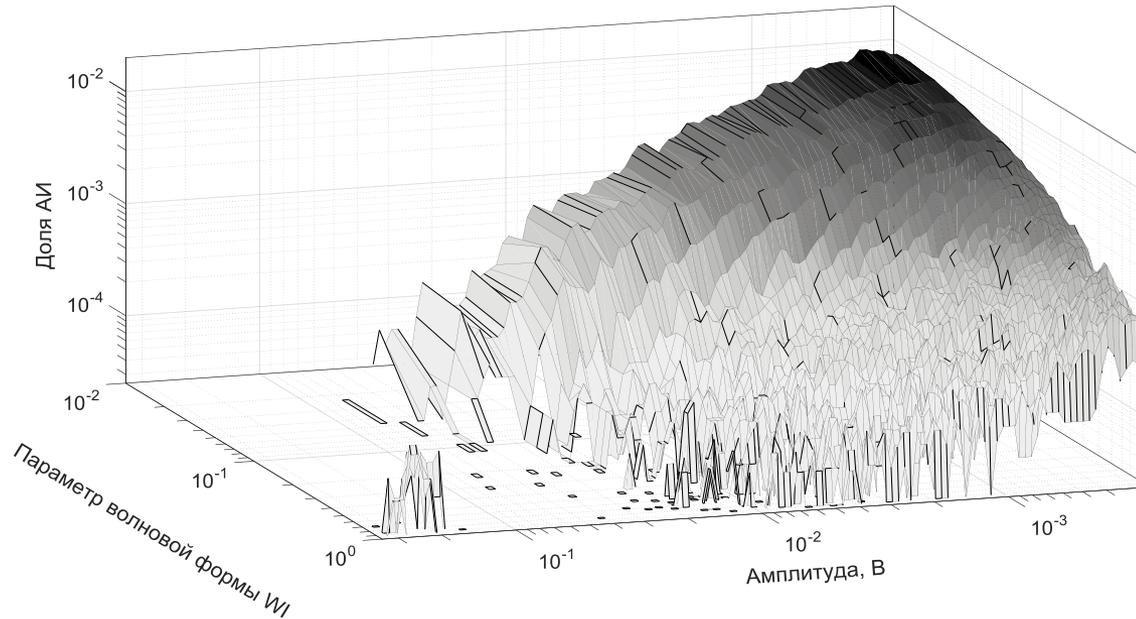
[Lherminier et al., 2019, PRL]

Формирование «силового скелета» в процессе сдвигового деформирования

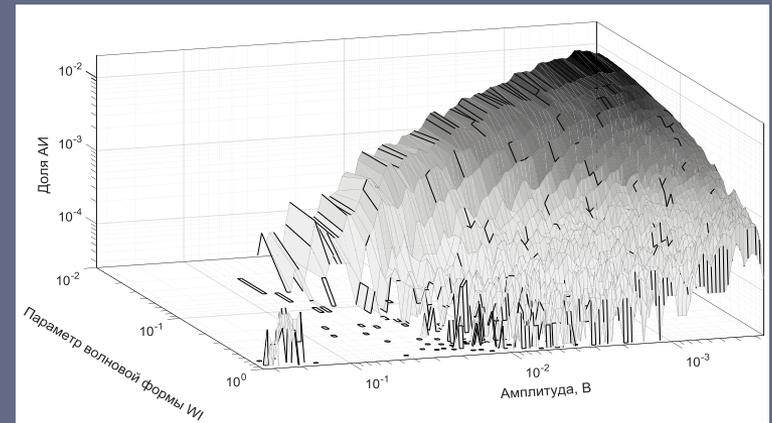


Photoelasticity picture of the granular assembly
[Drescher, de Josselin de Jong, 1972]

Заключение



Представлен новый метод кластерного анализа АЭ. Статистика отдельных кластеров позволяет выделить разномасштабные деформационные процессы, характеризующиеся различными скейлинговыми соотношениями.



Представлен новый метод кластерного анализа АЭ. Статистика отдельных кластеров позволяет выделить разномасштабные деформационные процессы, характеризующиеся различными скейлинговыми соотношениями.

Спасибо за внимание

16 октября 2019