

Сейсмический мониторинг месторождений углеводородов

Семестровый курс
Лекция 3



Лекция 3

- Фрактальность пространственного распределения очагов землетрясений.
 - Распределения сейсмических событий в пространстве, методы анализа пространственного распределения сейсмических событий.
 - Опыт регистрации и анализа данных по сейсмической активности в районе месторождения нефти. Выявление активных тектонических разломов.
 - Взаимосвязь между сейсмической активностью и параметрами эксплуатации месторождения нефти.
 - Использование регистрации микросейсмических явлений для определения положения трещин гидроразрыва пласта.
-



Фрактальная размерность

- Пример: результат измерения длины береговой линии по карте зависит от масштаба карты

$$d_c = \lim_{\varepsilon \rightarrow 0} \frac{\lg N(\varepsilon)}{\lg \left(\frac{1}{\varepsilon} \right)}$$



Мультифрактальные меры

- Рассмотрим n -мерный параллелепипед D с единичным объемом.
- Разобьем D на непересекающиеся кубики со стороной Δ .
- Пусть имеется вероятностная мера μ , которая в i -ой ячейке принимает значение $p_i(\Delta)$.
- Энтропия Больцмана
- Энтропия Гиббса-Шеннона
- Обобщенная энтропия Реньи
- ~~Обобщенная размерность меры~~

$$\ln I_q(\Delta) = \begin{cases} \frac{1}{1-q} \ln [\sum p_i^q(\Delta)], & q \neq 1 \\ -\sum p_i(\Delta) \ln p_i(\Delta), & q = 1 \end{cases}$$

$$d(q) = \lim_{\Delta \rightarrow 0} \frac{\ln I_q(\Delta)}{\ln 1/\Delta} = \lim_{\Delta \rightarrow 0} \frac{\ln [\sum p_i^q(\Delta)]}{(1-q) \ln 1/\Delta}$$



Мультифрактальные меры

- Обозначим

$$\alpha_i = \frac{\ln p_i(\Delta)}{\ln \Delta}$$

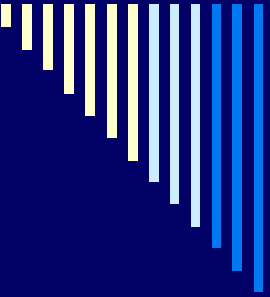
$N_\Delta(\alpha, \delta\alpha)$ (число) ячеек, в которых $(\alpha, \alpha + \delta\alpha) \in \alpha \delta\alpha$

- Мера μ называется мультифрактальной, если

$$N_\Delta(\alpha, \delta\alpha) = w_\Delta(\alpha) \delta\alpha [1 + o(1)], \Delta \rightarrow 0$$

$$w_\Delta(\alpha) = \rho(\alpha, \Delta) \Delta^{-f(\alpha)},$$

f (не) отрицательная, $\lim_{\Delta \rightarrow 0} \frac{\ln \rho(\alpha, \Delta)}{\ln 1/\Delta} \rightarrow$



Фрактальность пространственного распределения сейсмичности

- Разобьем рассматриваемую область на квадратные ячейки со стороной Δ .
- Выберем интервал энергий землетрясений и времени их наблюдения.

$$p_i = N_i(\Delta) / N$$



Анализ пространственных структур техногенной сейсмичности

1. Анализ пространственного положения группирующихся событий:
 - группирование по пространству
 - группирование по времени;
 2. Выявление сейсмически однородных блоков.
 3. Анализ миграции локальных максимумов сейсмической активности.
-



Энергетический критерий близости

Процедура оценки близости заключается в сравнении расстояния между гипоцентрами пар событий с размерами области эффективного изменения НДС в результате первого из двух сейсмических событий. Радиус зоны влияния $R_{вл.}$ полагается пропорциональным длине сейсмогенерирующей части разлома L :

$$R_{вл.} = A * L.$$

Длина разлома определяется по энергии E землетрясения

$$L [км] = 0.4 * E^{1/3} []$$

Коэффициент 0.4 получен из эмпирических формул:

$$\lg L = 3.2 + 0.5M \quad \lg E = 11.8 + 1.5M$$

где M – магнитуда. Разброс коэффициентов указанных зависимостей дает оценку $E/V = 10^{1.2} \div 10^{2.3}$, где V – объем очага землетрясения в m^3 , коэффициент A может принимать значения от 3 до 8.

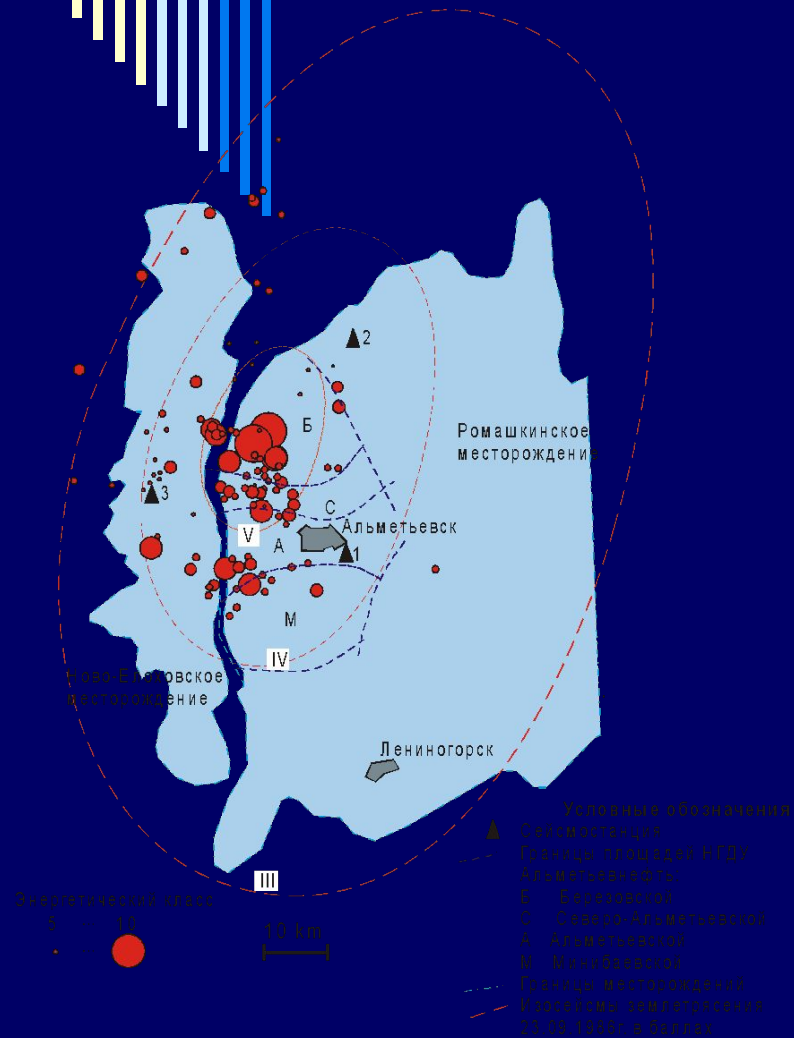
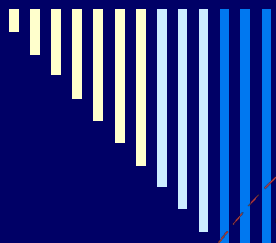
Выбирается первое в анализируемом каталоге событие, для него проводится поиск первого близкого события. После обнаружения такого события в качестве зоны влияния рассматривается объединение зон первого и второго событий и производится поиск событий, попавших в объединенную зону и т. д. Полученная выборка трактуется как группа первого события. Затем формируется группа второго события и т.д.



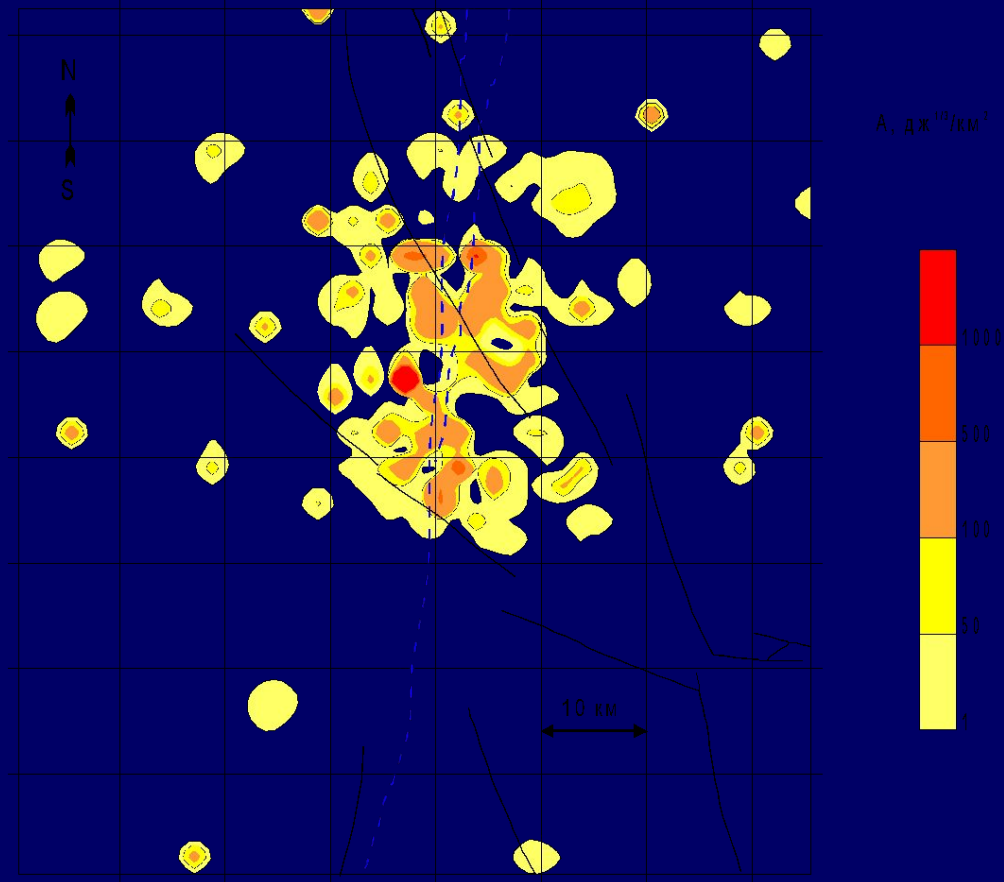
Сейсмически однородные блоки

- участки, в пределах которых сейсмическая активность изменяется во времени одинаково.
Процедура определения границ таких блоков:

- На участке повышенной активности выбирается представительная площадка с активностью, наибольшей за рассматриваемый период.
 - Для этой площадки строится график изменения сейсмической активности во времени.
 - Размер площадки увеличивается. Если при этом график изменения активности принципиально не меняется, то размер площадки вновь увеличивается.
 - Такая же процедура выполняется соседних областей повышенной активности.
-



Положение эпицентров местных землетрясений в пределах Ромашкинского месторождения нефти



Характеристика распределения энергии сейсмических событий по площади в районе Ромашкинского месторождения нефти Показаны тектонические разломы по [Белоусов и др., 1994] (сплошные линии) и граница между Ромашкинским и Ново-Елховским месторождениями, соответствующая Алтунино-Шунакскому прогибу (пунктирная линия).

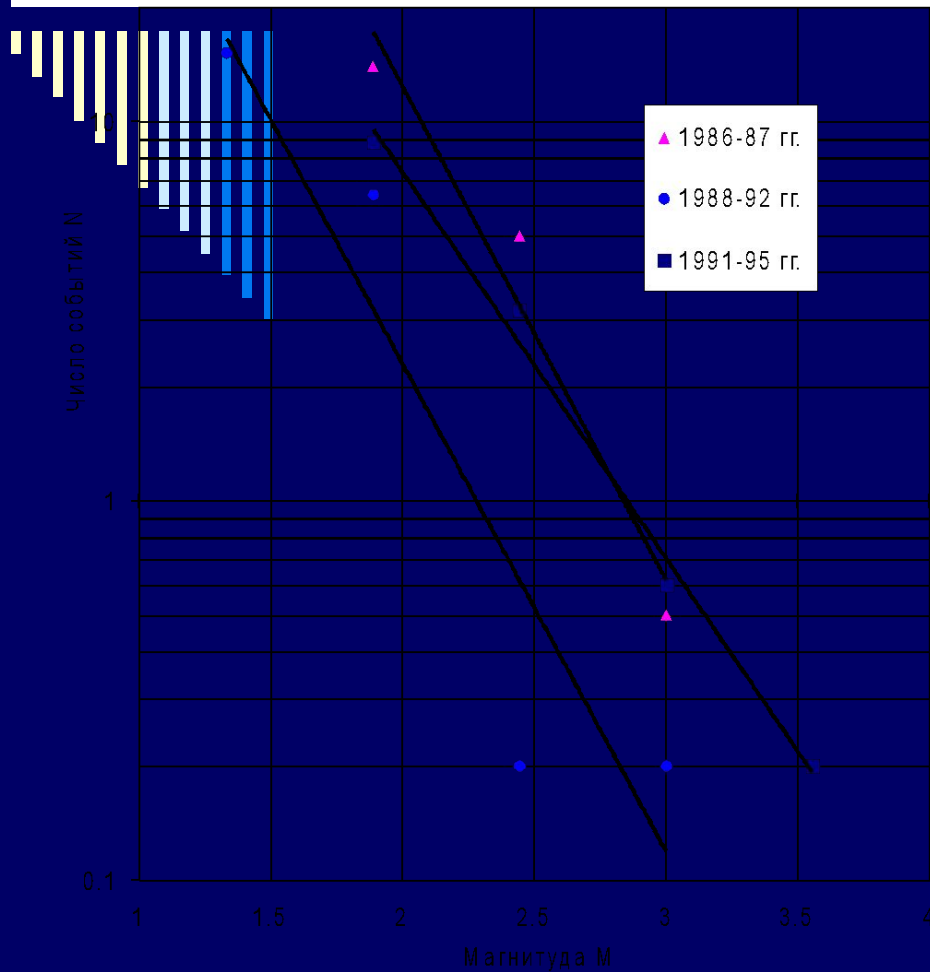


График повторяемости сейсмических событий в районе Ромашкинского месторождения нефти

$$\lg \bar{N} = 2,94 - 1,29M$$

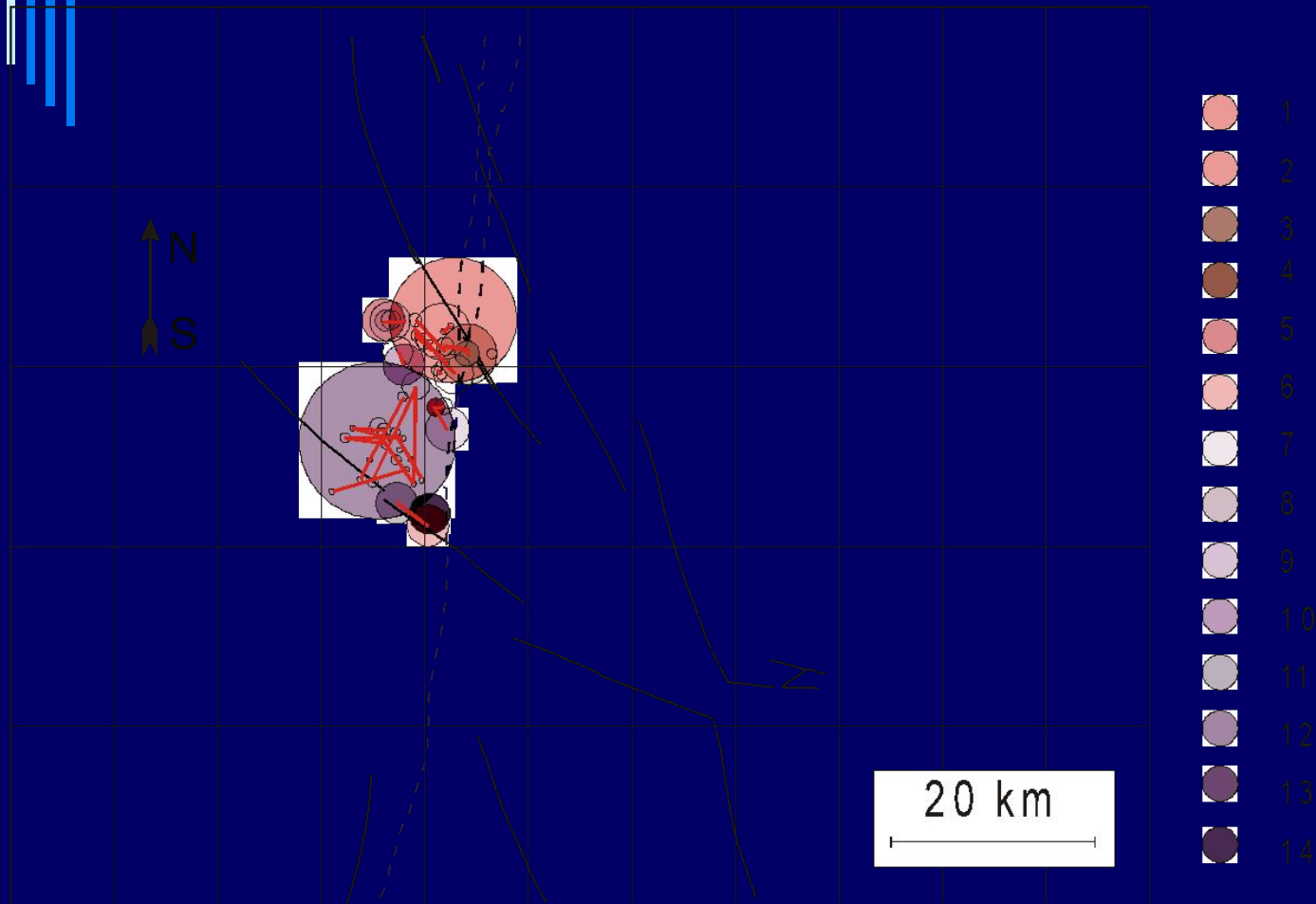
$$\lg \bar{N} = 3,7 - 1,3M$$

$$\lg \bar{N} = 2,9 - 1,02M$$

Распределение интервалов времени между последовательными событиями для представительных сейсмических явлений соответствует распределению Вейбулла с параметрами $n = 0.50$, $x_0 = 8719$:

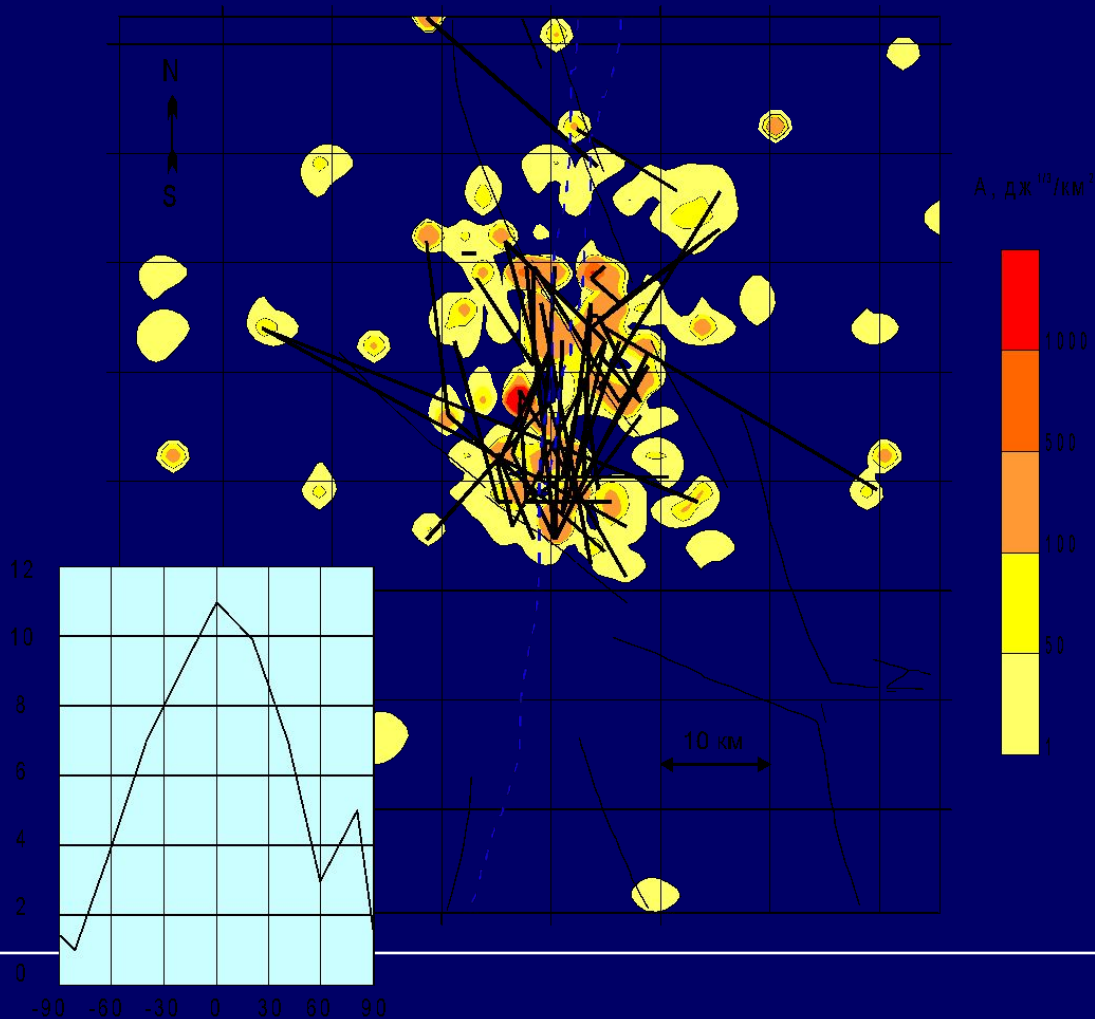
$$P = 1 - e^{-\left(\frac{x}{x_0}\right)^n}$$

Пространственные особенности сейсмичности в районе Ромашкинского месторождения

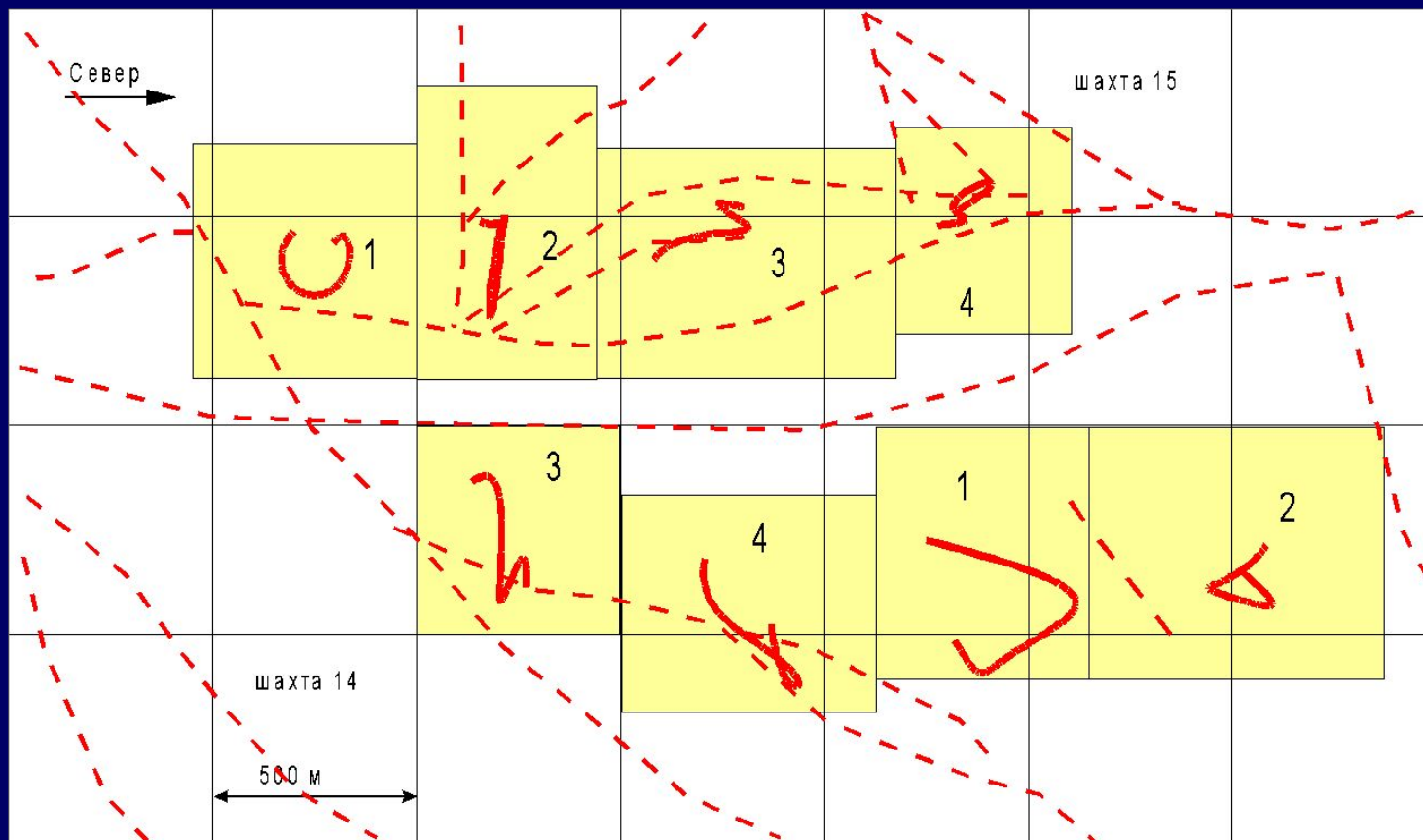


Зоны влияния группирующихся сейсмических событий на Ромашкинском месторождении. Первое событие в каждой группе показано отдельным цветом. Показано расположение основных тектонических структур.

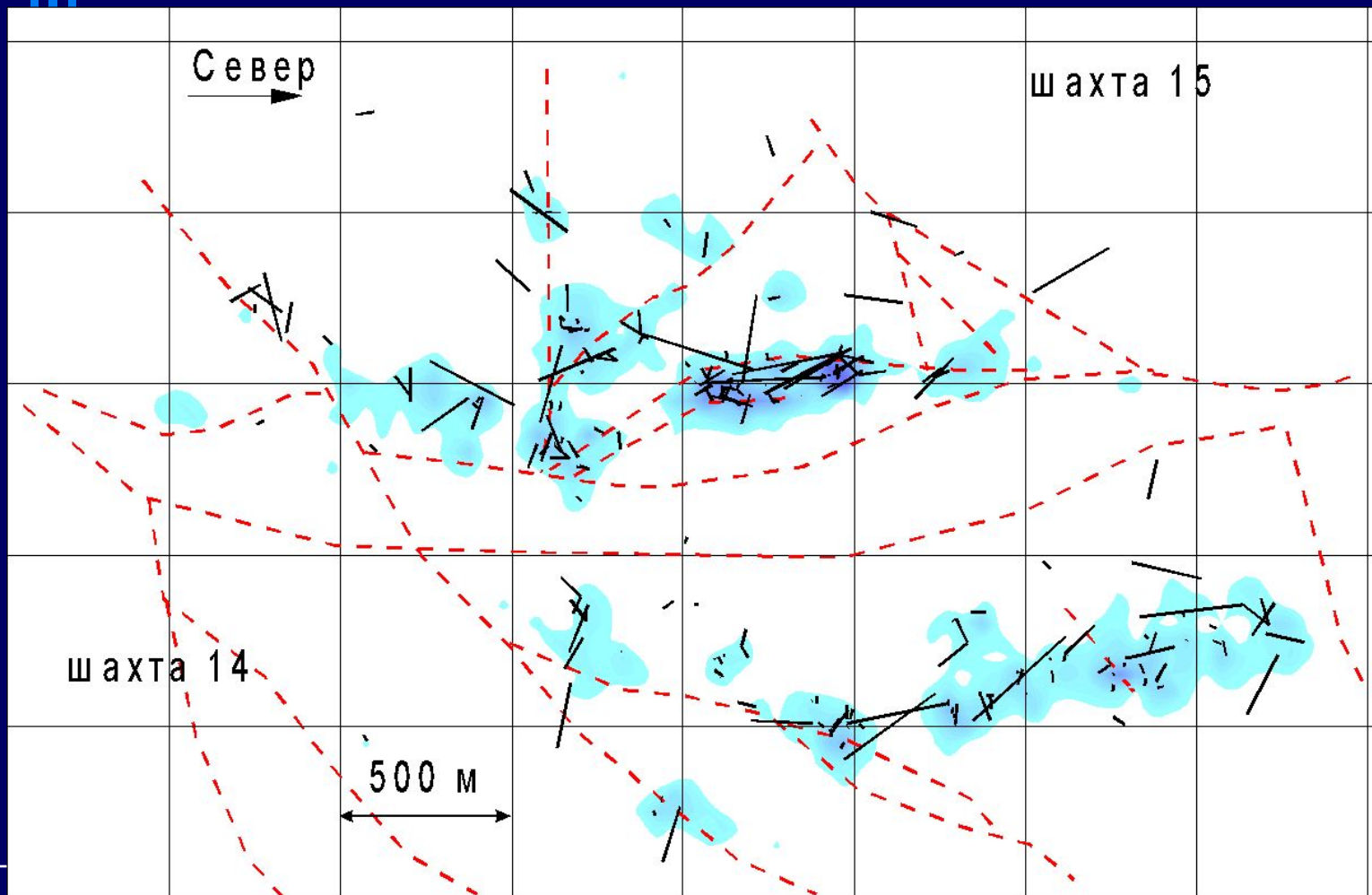
Сейсмические события, близкие друг к другу по времени:
распределение в плане линий, соединяющих эпицентры парных сейсмических событий в районе Ромашкинского месторождения нефти (а) и распределение азимутов этих линий (б).



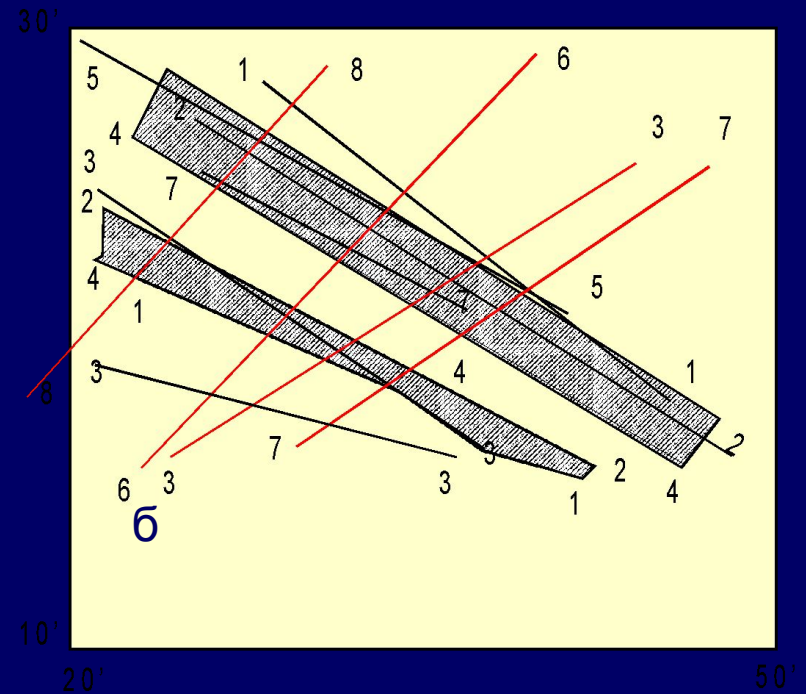
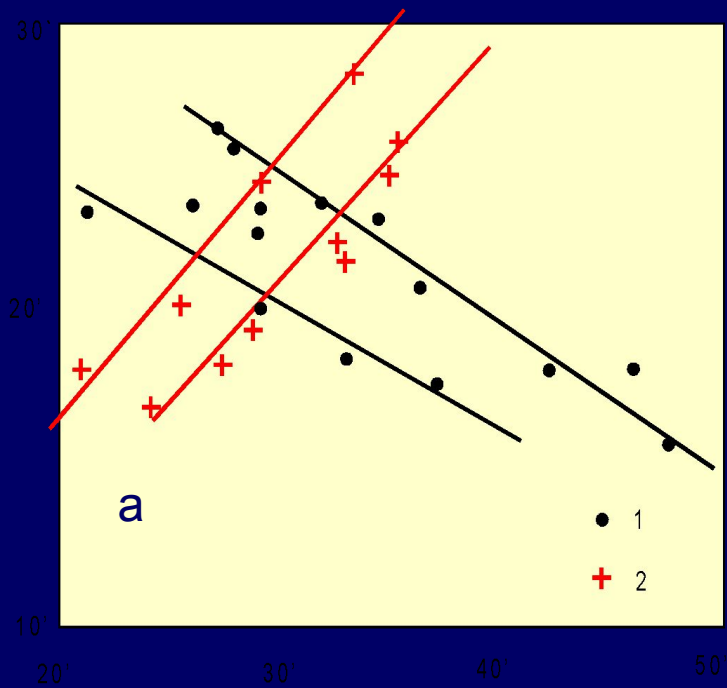
Траектории изменения среднего положения локальных максимумов сейсмической активности сейсмически активных участков шахт 14 и 15 СУБРа.

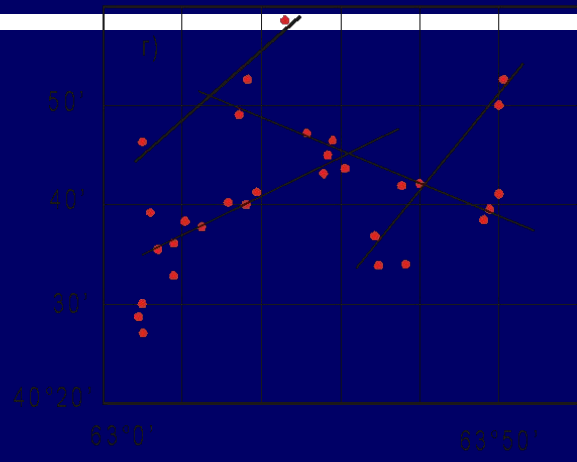
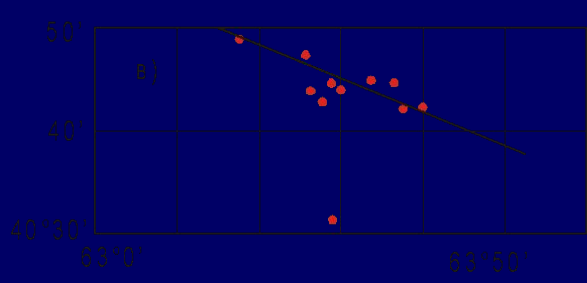
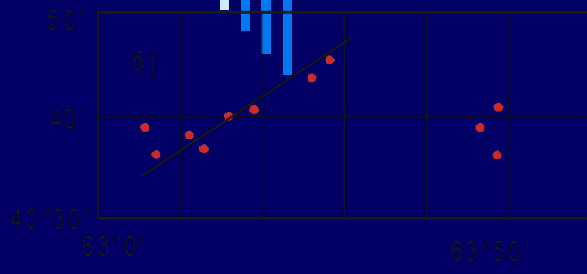
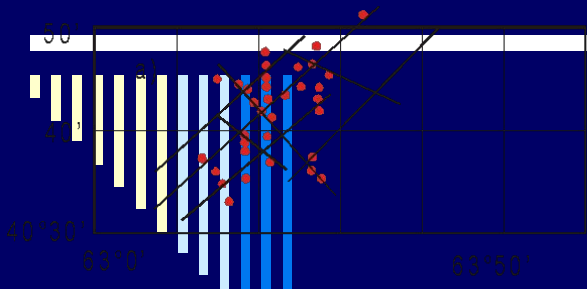


Линии, соединяющие парные события

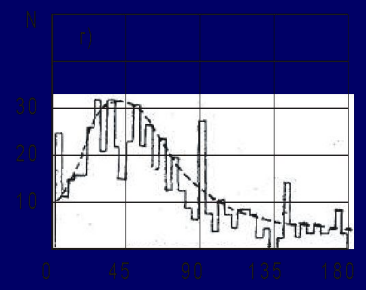
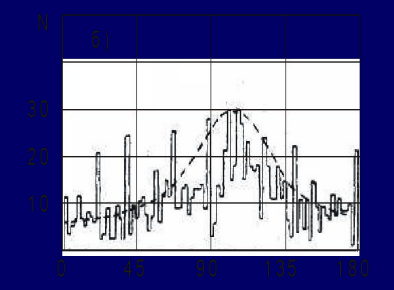
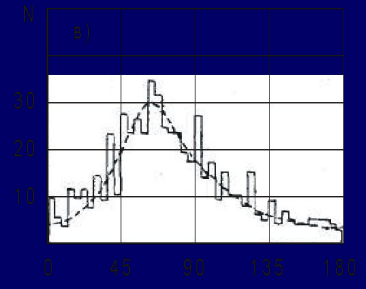
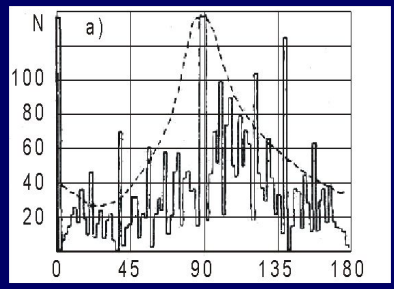


Эпицентры афтершоков 17.V 1976 г. с глубиной 5-9 км: а: 1 -афтершоки, зарегистрированные 19.V с 1 до 15 час; 2 - с 11 час. 31 мая до 2 июня; б - линии группирования всех афтершоков землетрясения 17.V1976 г. с глубиной 5-9 км;



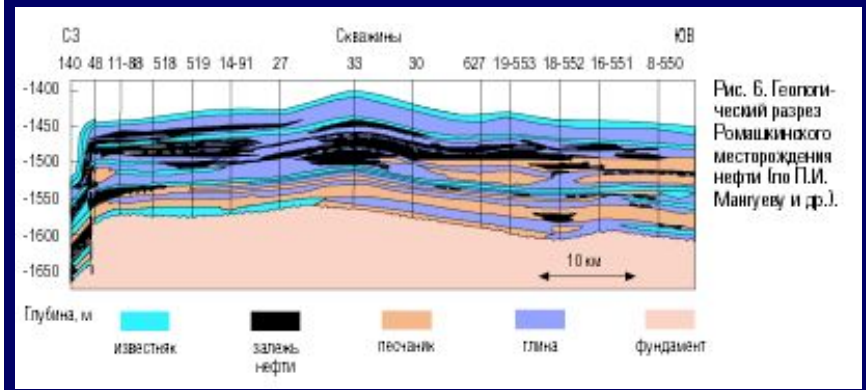
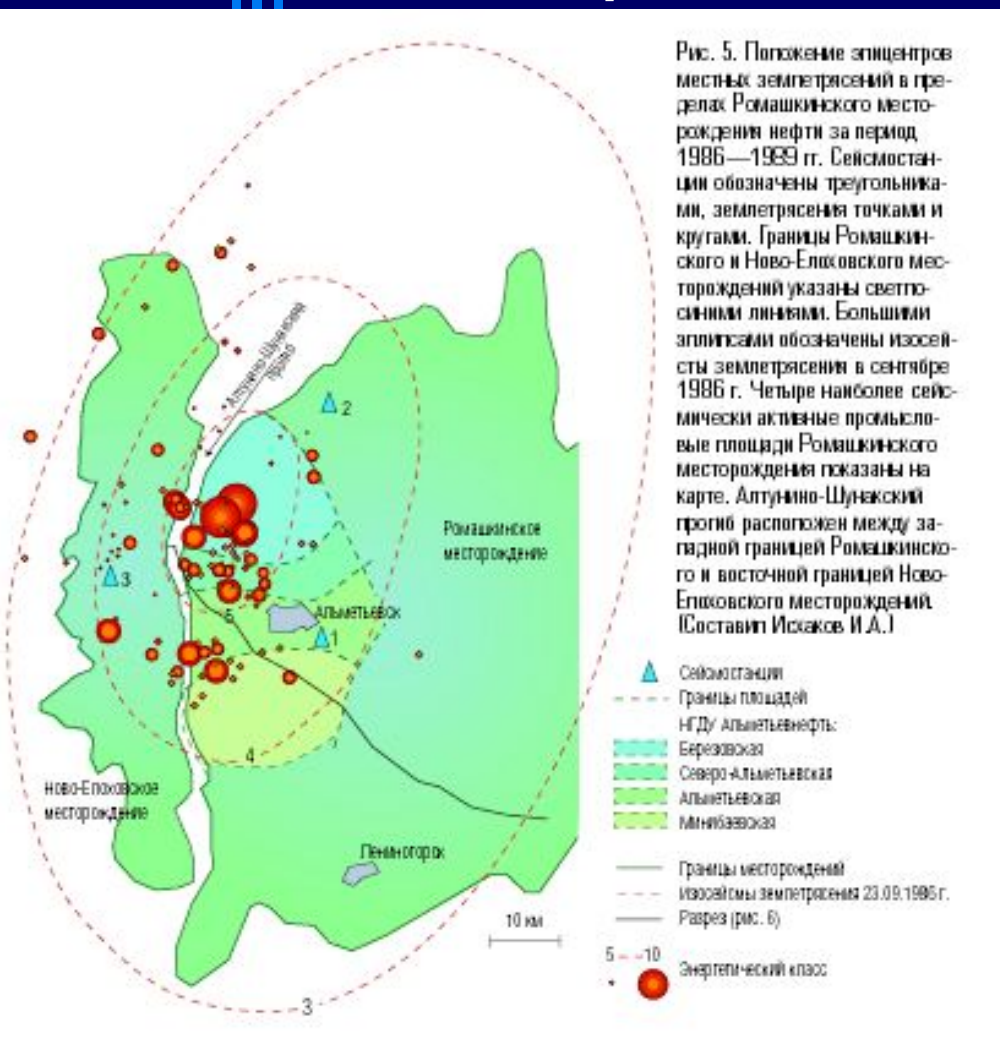


Эпицентры афтершоков землетрясения 19.III.1984 г., составляющие группы по времени: а-глубина 10-12,5 км; б - глубина 0-5 км, начало процесса; в-конец процесса; г - суммарная картина афтершоков глубиной 0-5 км. Линии соответствуют максимумам гистограмм



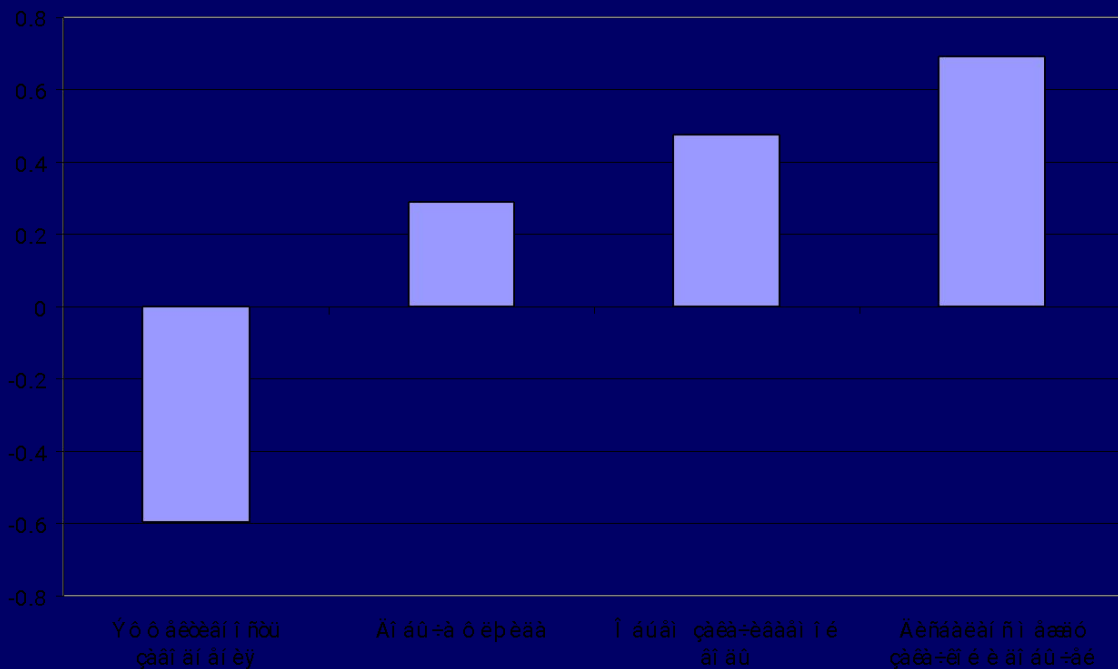
Гистограммы распределения углов между направлением от каждого эпицентра на все остальные и направлением на север для временных групп афтершоков: а) для афтершоков землетрясения 8.IV.1976г. с глубиной 5-9 км; б) для первых 50 афтершоков 17.V.1976г. с глубиной 5-9км; в) для афтершоков 19.III.1984 г. с глубиной 7.5-10 км; г - для афтершоков 19.III.1984 г. с глубиной 10-12.5 км.

Сейсмичность Ромашкинского месторождения нефти



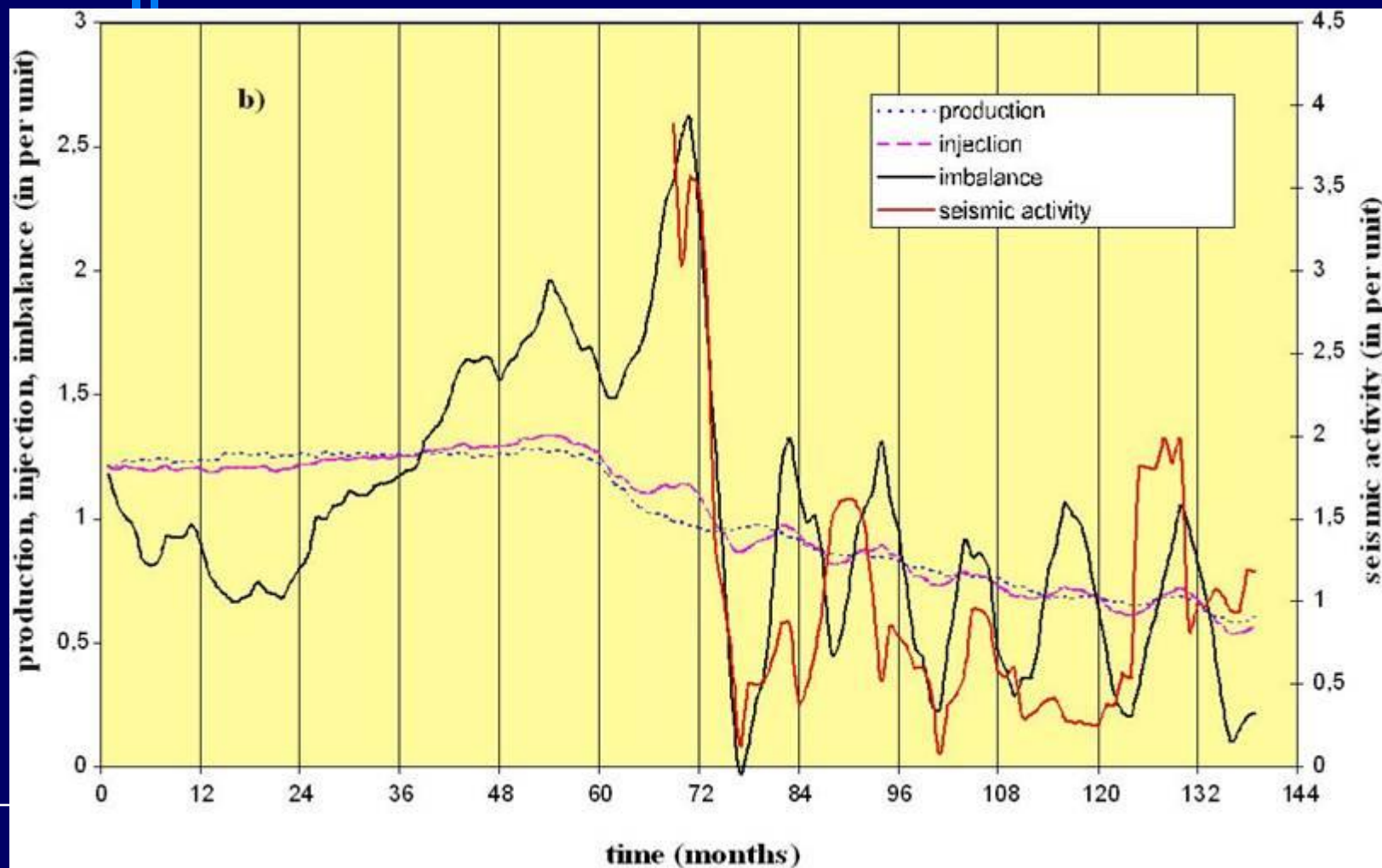
Взаимодействие техногенных воздействий при разработке месторождений углеводородов и сейсмодеформационных режимов

- Усиление техногенной сейсмичности вызывается дисбалансом между объемами закачанной и добытой жидкостями и совпадением периодов изменения объемов закачки при нестационарном заводнении с периодами естественных сейсмодеформационных режимов.
- Рост техногенной сейсмической активности ведет к падению эффективности мер по увеличению нефтеотдачи

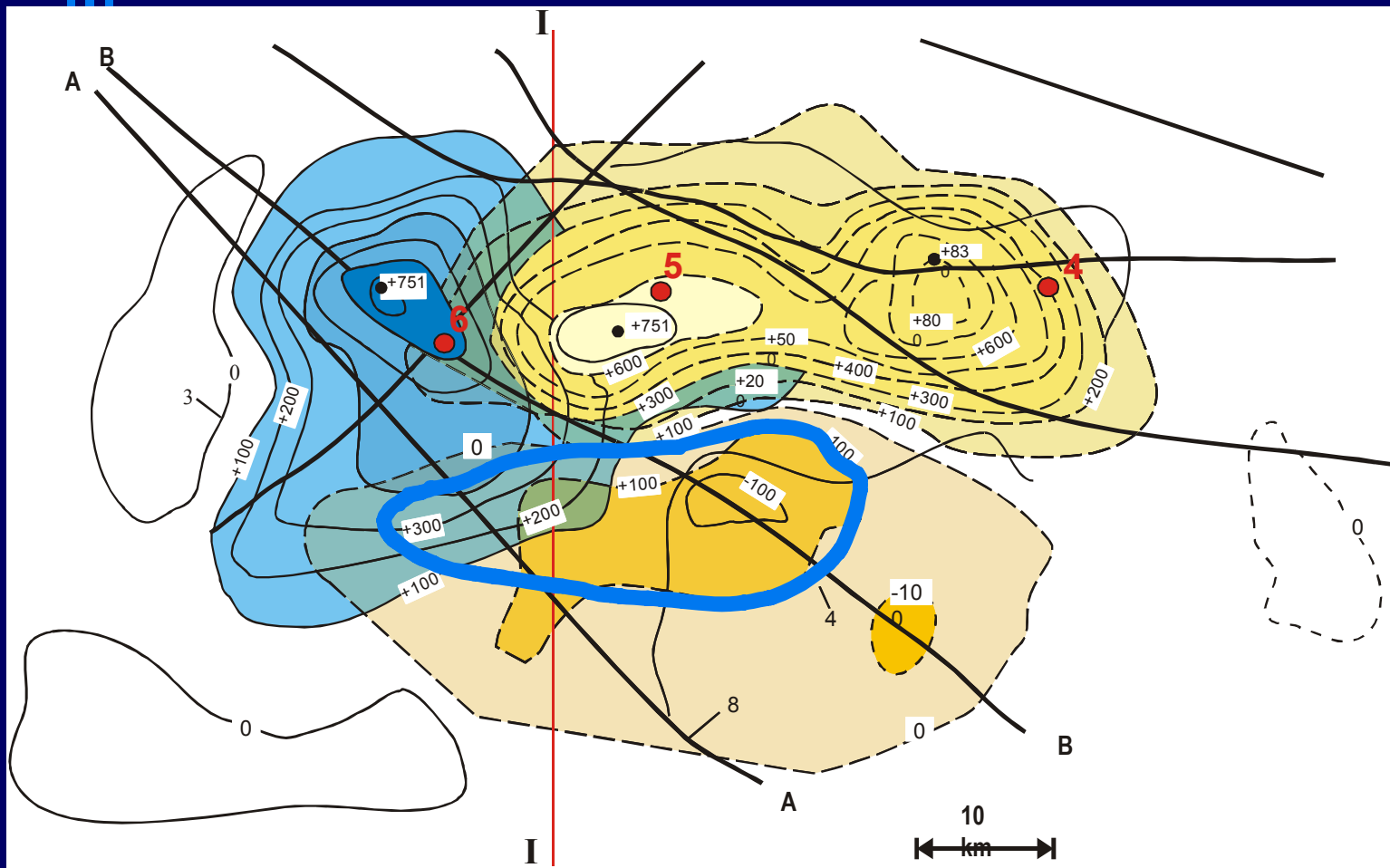


Коэффициенты корреляции между сейсмической активностью и показателями разработки Ромашкинского месторождения нефти

Изменение сейсмичности в районе Ромашкинского месторождения нефти в сопоставлении с вариациями объемов добычи и закачки жидкости и дисбаланса.



Деформации земной поверхности в зоне катастрофических Газлийских землетрясений. Показан контур месторождения газа.



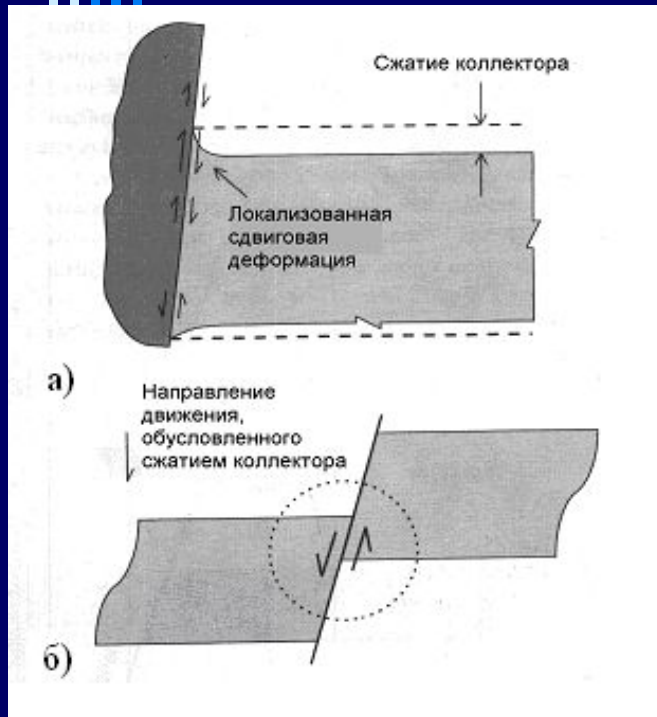


Последствия землетрясения в Нефтегорске

Ряд ученых полагает, что разработка месторождения привела к усилению сейсмического эффекта Нефтегорского землетрясения.



Модели техногенной сейсмичности.



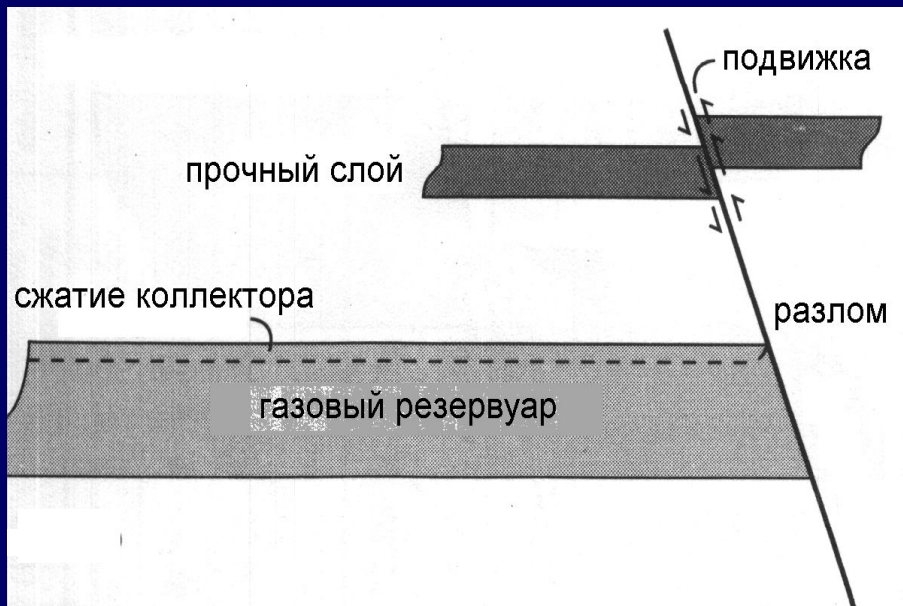
Сдвиговые деформации и смещения, возникающие в результате дифференциального сжатия коллектора:

а) – на границе резервуара; б) – вдоль разлома внутри резервуара

Сейсмичность, связанная с декомпрессией при добыче углеводородов

Вследствие добычи флюидов поровое давление в коллекторе постепенно снижается, увеличивая нагрузку вышележащих пород на скелет коллектора. В результате происходит сжатие коллектора. При этом, если залежи достаточно обширны, уровень земной поверхности понижается почти на такую же величину.

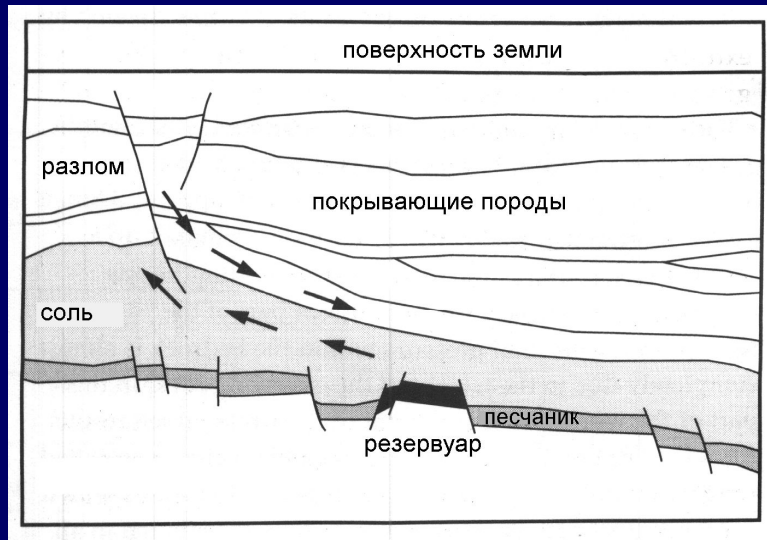
Модели техногенной сейсмичности.



В результате декомпрессии в коллекторе вдоль разлома распространяется сдвиговая подвижка, которая может вызвать сдвиговое разрушение прочного пласта, расположенного над месторождением, сопровождающееся землетрясением.

Механизм возникновения индуцированного землетрясений над границей газового резервуара

Модели техногенной сейсмичности.



Механизм возникновения
триггерных землетрясений

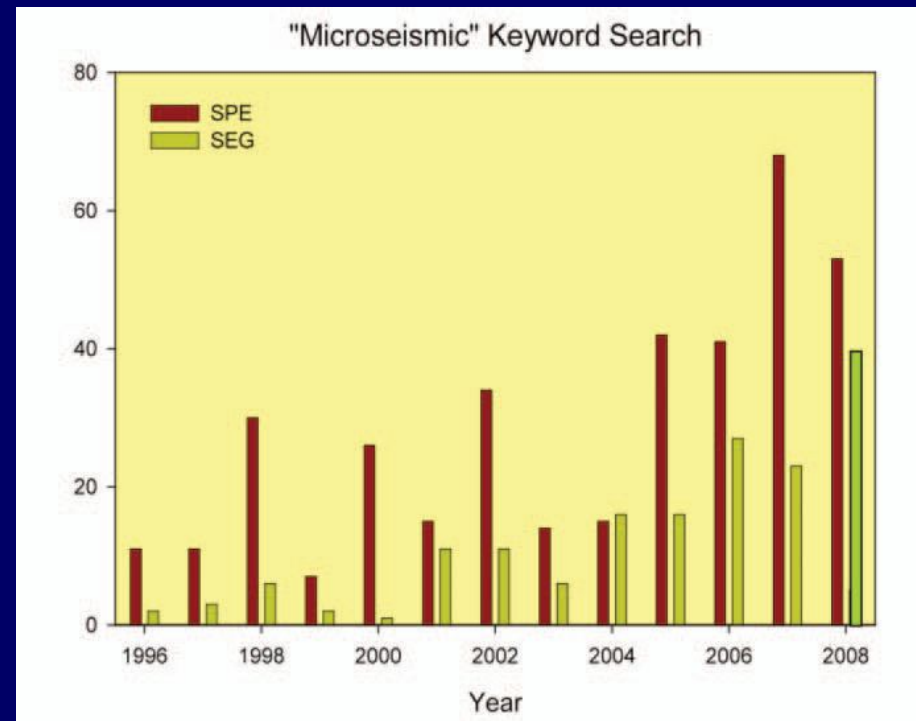
- В отдалении от резервуара находится разлом, подстилаемый толстым слоем пластичной породы (например, каменной соли). В результате пластических деформаций соли происходит перераспределение напряжений вдоль разлома, находящегося на значительном расстоянии от резервуара. Нарушение равновесного напряженного состояния на разломе в результате декомпрессии в коллекторе является «спусковым крючком» (триггером) для высвобождения энергии тектонических деформаций.

Пассивный микросейсмический мониторинг на месторождениях углеводородов

1970-е – первые опыты ведения микросейсмического (МС) мониторинга на месторождениях УВ

1980-90-е годы – ряд проектов по МС мониторингу, в основном в США, крупнейший – Cotton Valley Consortium Project в 1997, начало коммерческих проектов

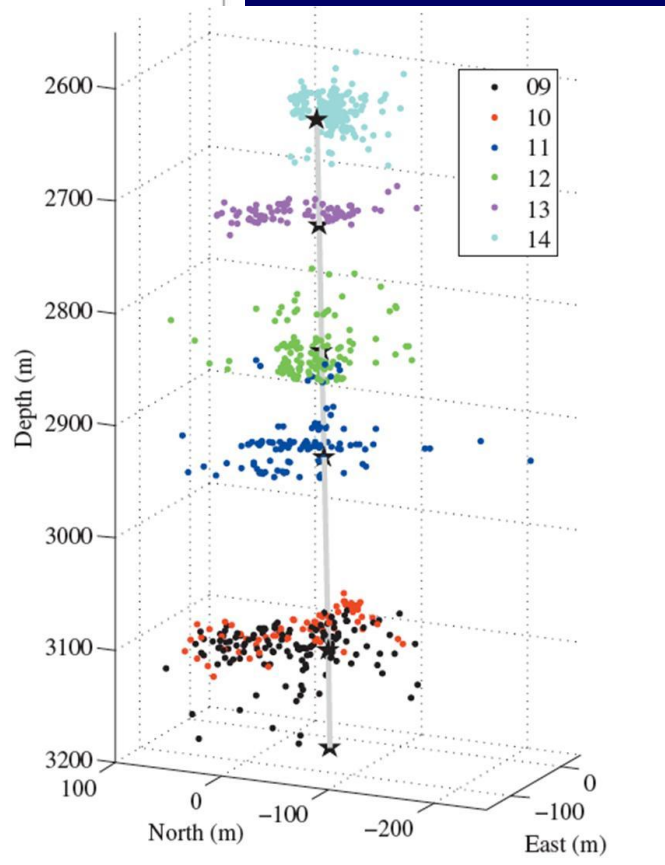
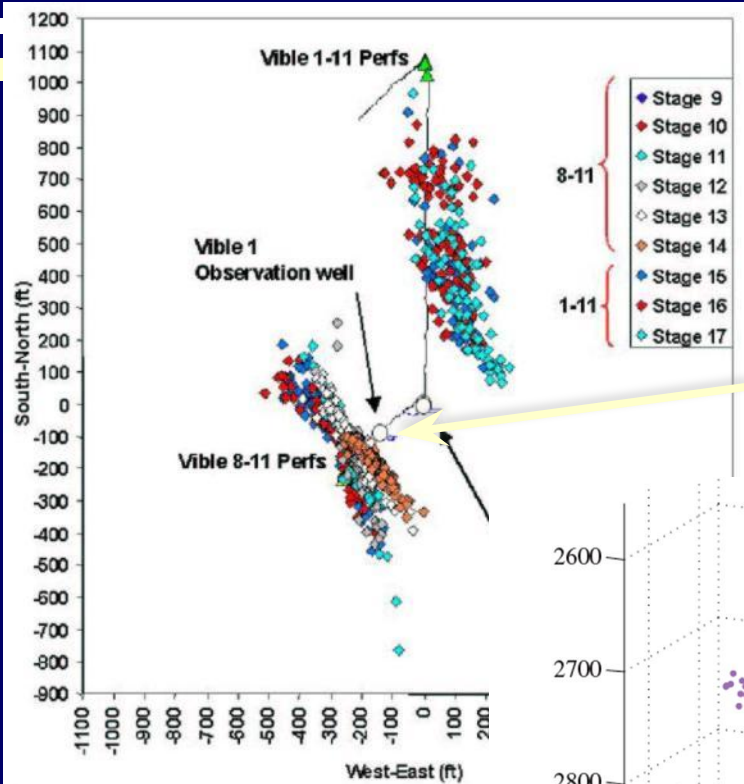
2000 – е годы – бурный рост проектов по МС мониторингу, в основном в США, около половины – на Barnett Shale, тысячи ГРП с применением МС мониторинга



Гистограмма изменения результатов запросов по ключевому слову «микросейсмичность» в библиотеках SPE и SEG

Микросейсмичность при проведении гидроразрыва пласта

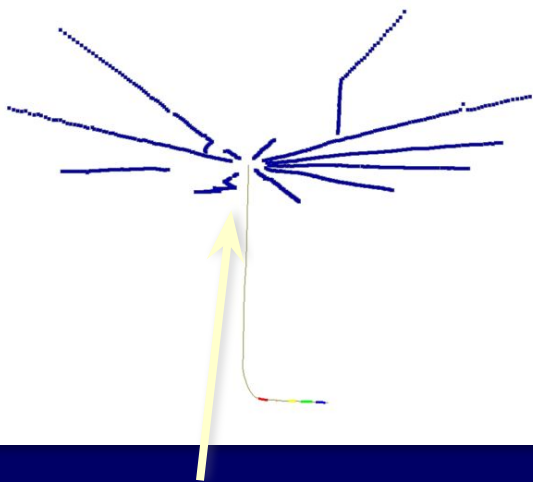
Геофоны расположены в
скважине



Пример регистрации
микросейсмических
событий при проведении
серии гидроразрывов
пласта на разных
глубинах в двух
скважинах: а) проекция
гипоцентров
микросейсмических
событий на поверхность
земли; б) трехмерное
изображение гипоцентров
микросейсмических
разрывов вблизи
скважины 8-11

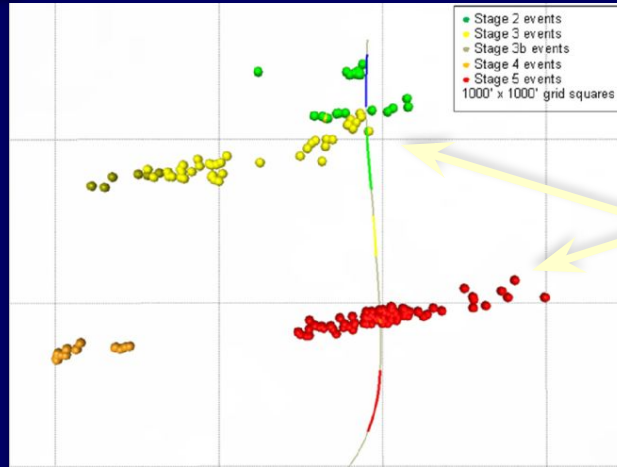
(из статьи V.Grechka,
P.Mazumdar,
S.Shapiro Predicting
permeability and gas
production of
hydraulically fractured
tight sands from
microseismic data.
GEOPHYSICS, V75,
N1. 2010)

МИКРОСЕЙСМИЧНОСТЬ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ ГИДРОРАЗРЫВА ПЛАСТА



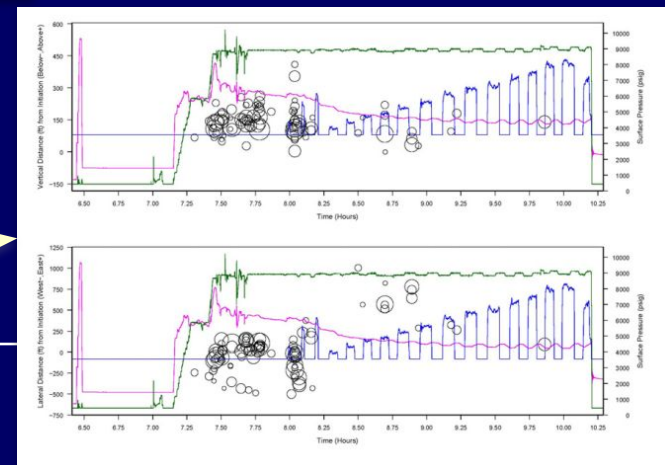
Конфигурация сети из 773 геофонов, расположенных на поверхности

Из статьи B.J. Hulsey, Leo Eisner, Michael P. Thornton, Dana Jurick. Application of relative location technique from surface arrays to microseismicity induced by shale fracturing. SEG 2009 Abstracts.



Вид в плане проекции гипоцентров сейсмических событий, зарегистрированных на различных этапах проведения ГРП горизонтального участка скважины

Сопоставление давления на забое скважины, расхода жидкости и концентрации пропанта с расстоянием от скважины до гипоцентров сейсмических событий и энергией событий





Литература

- Садовский М.А., Писаренко В.Ф.
Сейсмический процесс в блоковой среде.
 - Адушкин В.В., Турунтаев С.Б.
Техногенные процессы в литосфере (опасности и катастрофы).
-