

ФИЗИЧЕСКАЯ ИНТЕРПРЕТАЦИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ КОМПЛЕКСНОГО СКВАЖИННОГО ГЕОФИЗИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА НАПРЯЖЕННО – ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ГЕОСРЕДЫ

Гаврилов В.А.¹, Пантелеев И.А.², Рябинин Г.В.³

1 Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН, г. Петропавловск-Камчатский

2 Институт механики сплошных сред УрО РАН, г. Пермь

3 Камчатский филиал ГС РАН, г. Петропавловск-Камчатский

В предыдущем докладе было показано, что для текущих оценок сейсмической опасности для территории Камчатского края в настоящее время используются следующие два метода непрерывного мониторинга напряженного состояния геосреды, разработанные в ИВиС ДВО РАН:

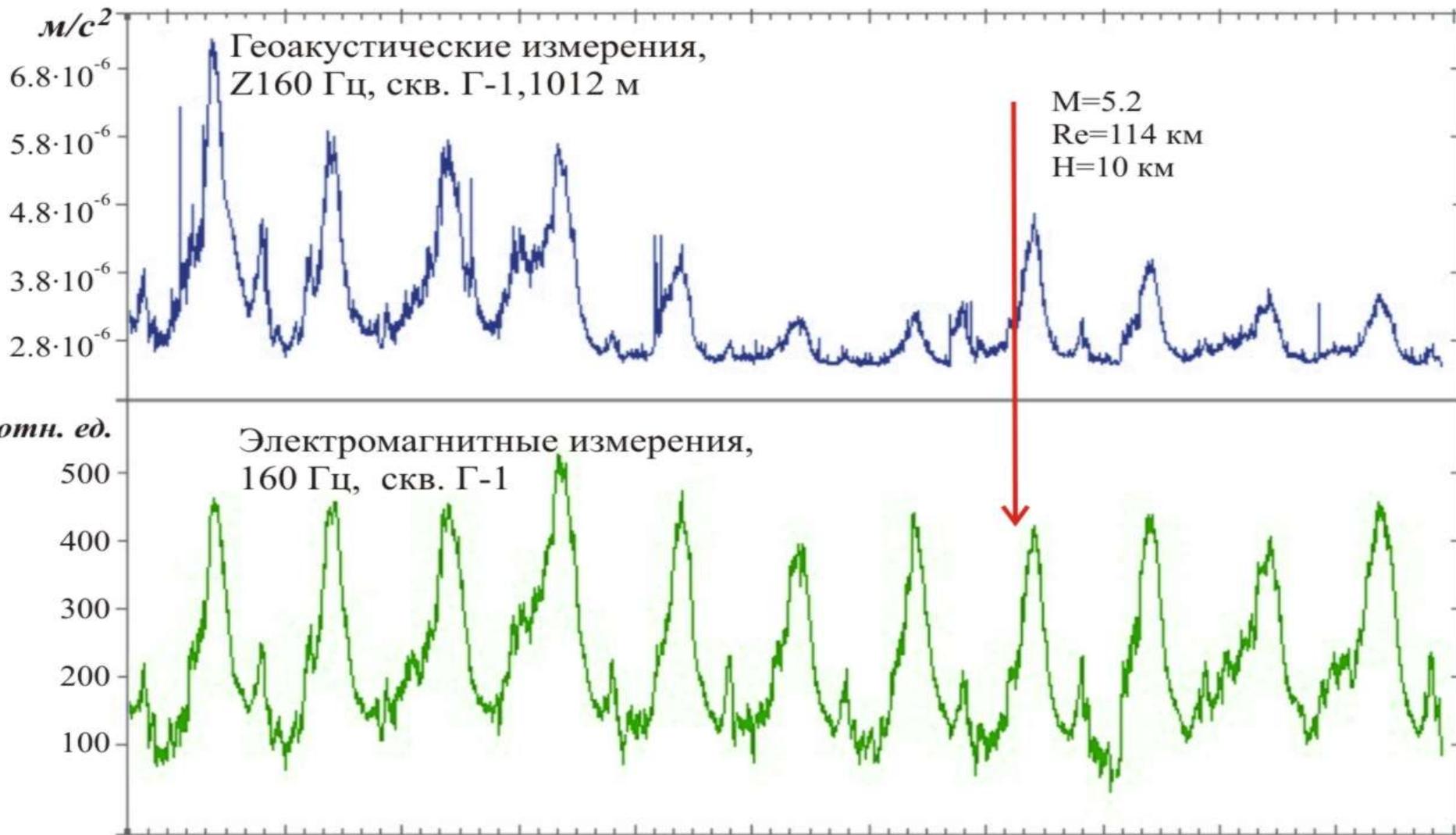
- *контроль откликов ГАЭ на воздействие внешнего ЭМИ;*
- *мониторинг изменений удельного сопротивления горных пород с использованием подземных электрических антенн.*

Указанные методы мониторинга совместно с данными по минерализации и дебиту (уровню) воды скважин позволяют достаточно надежно идентифицировать стадии напряженного состояния геосреды в районе скважин и служить основой для эффективных методов среднесрочного и краткосрочного прогноза землетрясений.

Эффект модулирующего воздействия внешнего ЭМИ на интенсивность ГАЭ

Октябрь, 2009 г.

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11



Физическая суть эффекта модуляции интенсивности ГАЭ внешним ЭМИ

Для системы с двойной пористостью:

1. Источники ГАЭ для сейсмически спокойных периодов:

переупаковка, фрагментация, компакция и растрескивание флюидонасыщенной геосреды под воздействием тектонических напряжений, литостатического давления, сейсмических волн и приливов.

2. Указанные процессы сопровождаются **образованием ДЭС** на границах раздела флюид - минеральный скелет горной породы.

Плотность зарядов ДЭС на каждом контакте оказывает существенное суммарное влияние на уровень ГАЭ.

3. Рост плотности зарядов ДЭС → увеличение коэффициента трения для межфазных границ → торможение процессов переупаковки, фрагментации и растрескивания → **уменьшение интенсивности ГАЗ**. Кроме этого: → **увеличение критического коэффициента интенсивности напряжений** для каждой из трещин, определяющего критический уровень напряжений, необходимых для начала роста трещины, что также ведет к **уменьшению интенсивности ГАЗ** [Gavrilov, Panteleev et. al., 2013].

4. Изменение величин зарядов ДЭС определяется плотностью суммарного тока:

$$\vec{j}_{\Sigma} = \vec{j}_E + \vec{j}_D + \vec{j}_{ek}$$

$$\vec{j}_E = \sigma \vec{E}$$

$$\vec{j}_D = D_+ \nabla n_+ - D_- \nabla n_-,$$

$$\vec{j}_{ek} = f(\text{grad}P, \text{grad}\varphi)$$

n_+, n_- - концентрации катионов и анионов,

P - поровое давление, φ потенциал течения

$$\vec{j}_{ek} = \vec{j}_{conv} - \vec{j}_{cond} = -\frac{\varepsilon_p \zeta}{F \eta} \nabla P - \sigma \nabla \varphi,$$

\vec{j}_{conv} - плотность конвективного тока, вызванного увлечением ионного слоя ДЭС течением флюида.

\vec{j}_{cond} - плотность возникающего при этом встречного тока проводимости.

σ - удельная электропроводность флюидонасыщенной породы,

ε_p - диэлектрическая постоянная флюида,

η - динамическая вязкость флюида,

ζ - дзета-потенциал, определяющий плоскость скольжения в ДЭС,

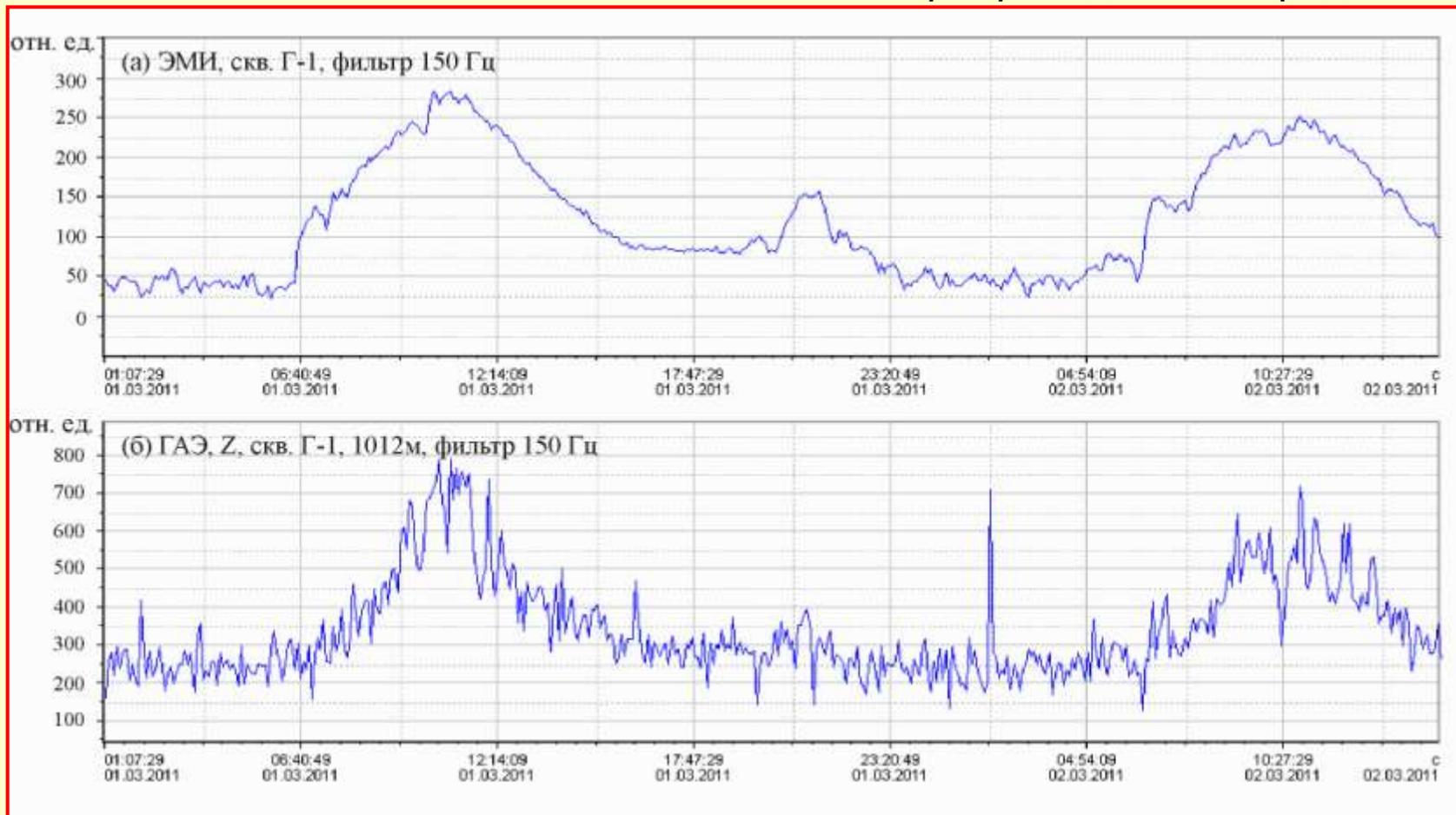
P - поровое давление, φ - потенциал течения, F - геометрический фактор, показывающий насколько удельная электропроводность насыщенной флюидом породы отличается от удельной электропроводности самого флюида.

Периоды фоновой сейсмичности

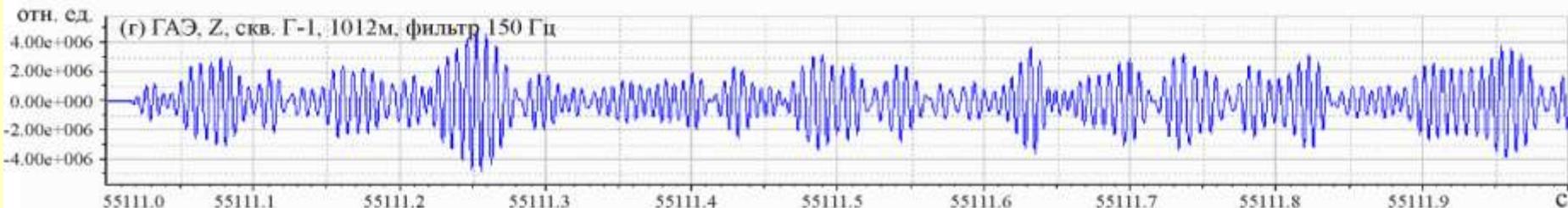
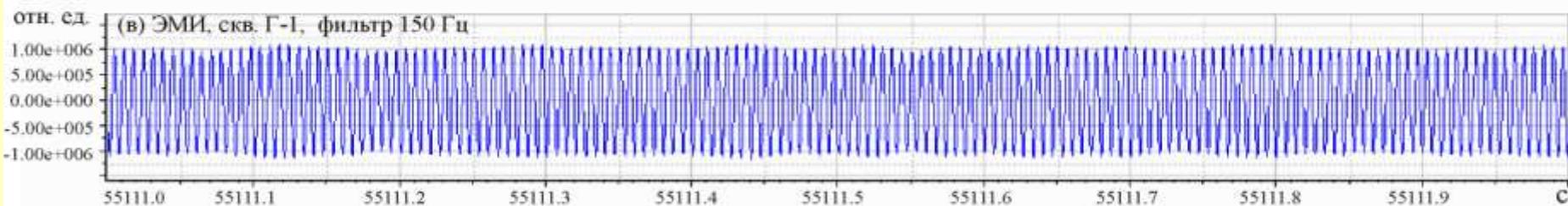
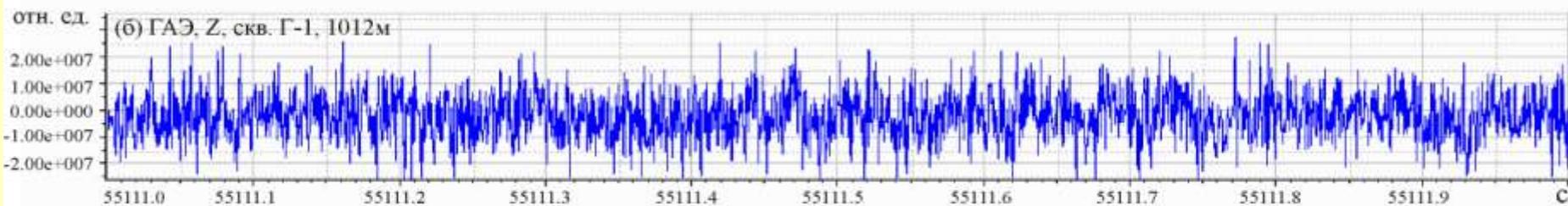
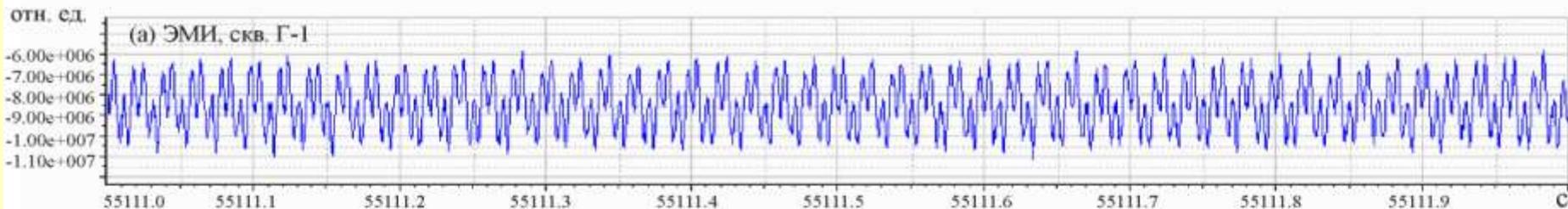
$$\vec{j}_{\Sigma} = \sigma \vec{E} + \vec{j}_D$$

\vec{E} - напряженность электрического поля,

σ – удельная электропроводность породы

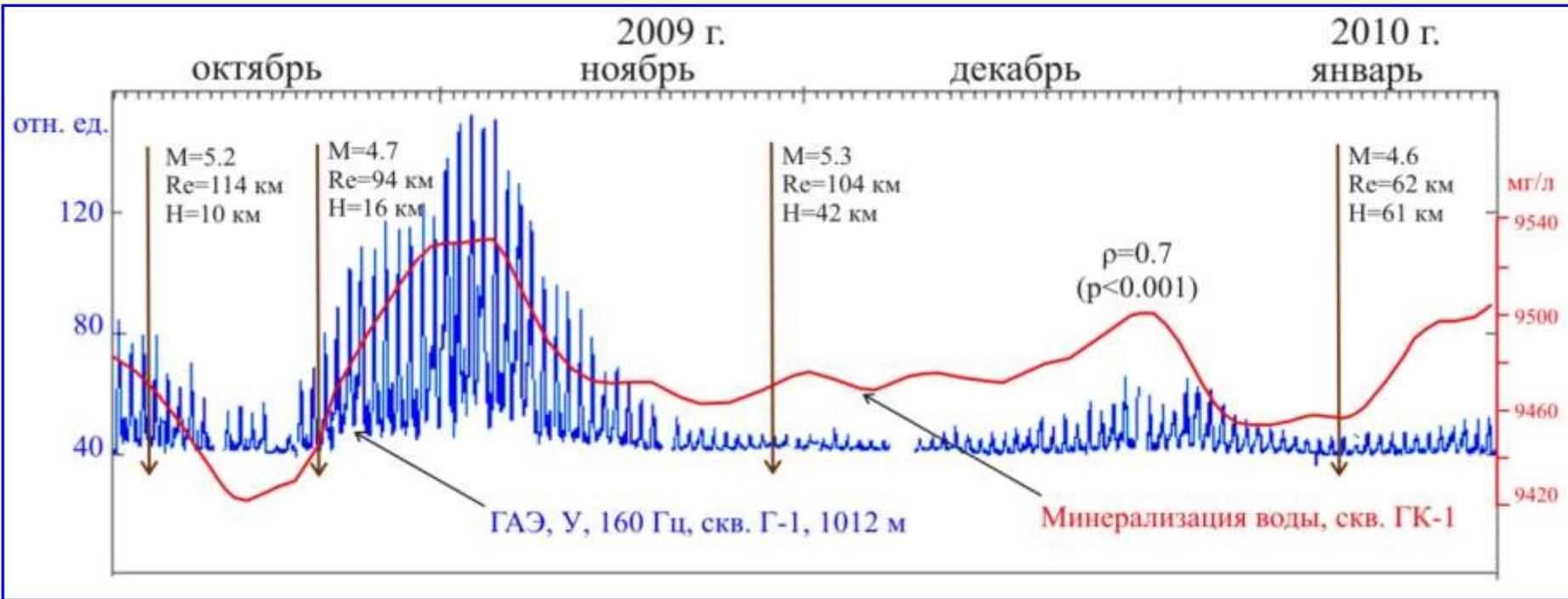
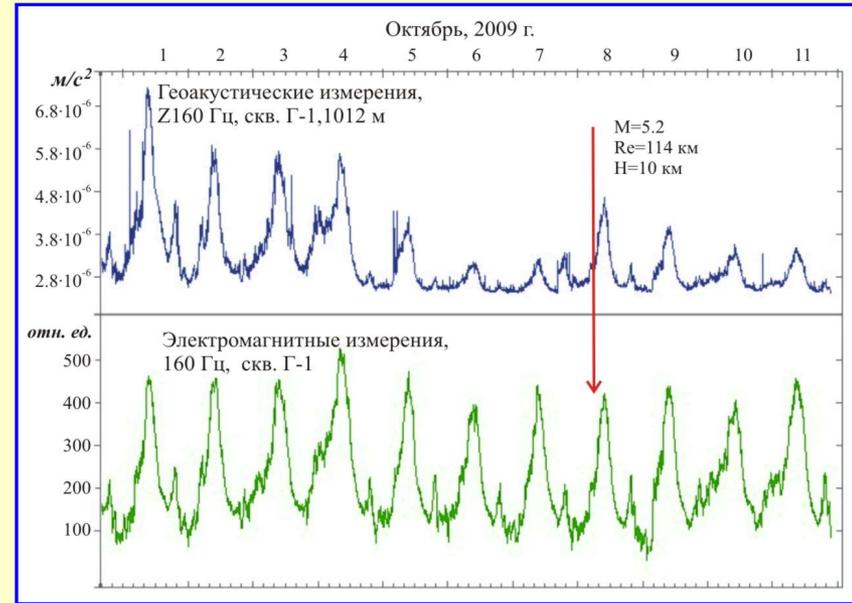


Сравнение сигналов ГАЭ и ЭМИ на частоте 150 Гц. Длительность выборки 1 с. Скважина Г-1, глубина 1012 м.



Изменения интенсивности ГАЭ при изменениях удельной электропроводности пород:

$$\vec{j}_E = \sigma \vec{E}$$



Мониторинг удельной электропроводности пород:

Для электромагнитной волны, распространяющейся в полупроводящей геосреде, затухание амплитуд напряженностей электрического и магнитного полей определяется множителем $e^{-\alpha}$, где α - коэффициент затухания:

$$\alpha = \omega \sqrt{0,5 \mu_a \varepsilon_a \left(\sqrt{1 + \frac{\sigma^2}{\omega^2 \varepsilon_a^2}} - 1 \right)}$$

Для частот порядка сотен Гц:

$$\alpha \approx \sqrt{0,5 \omega \mu_a \sigma}$$

При значениях флюидонасыщенности горных пород $\leq 4\%$:

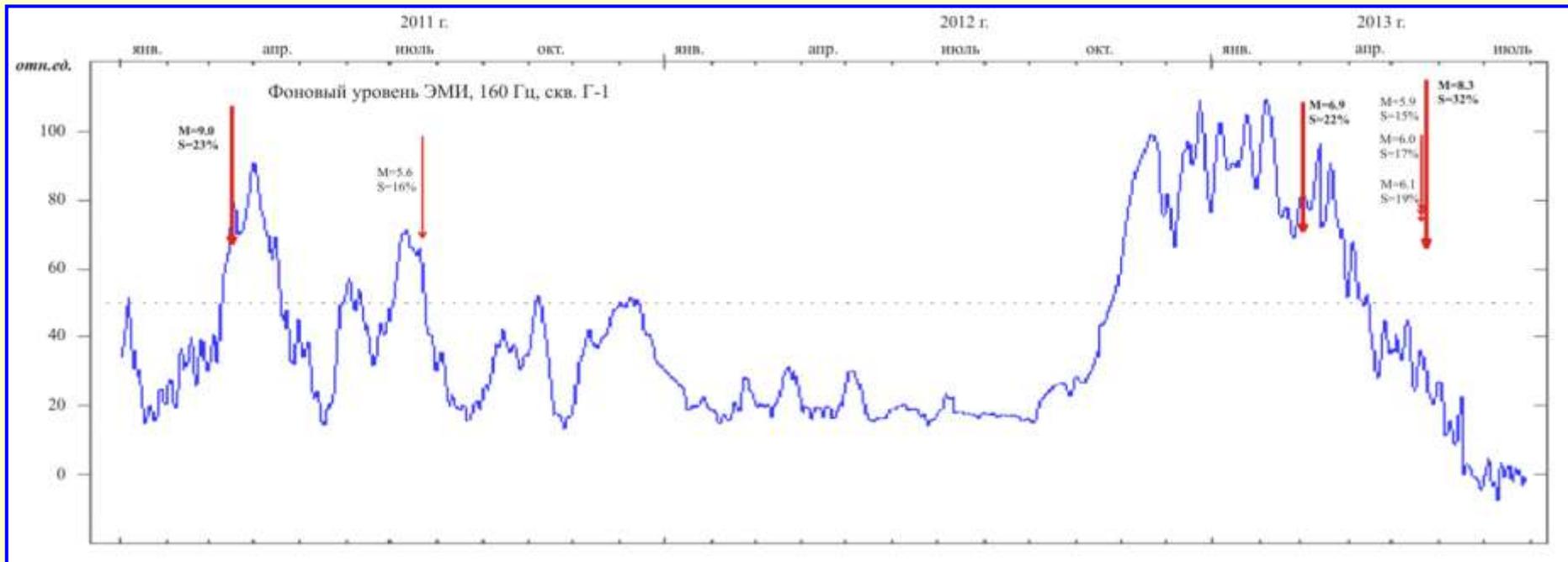
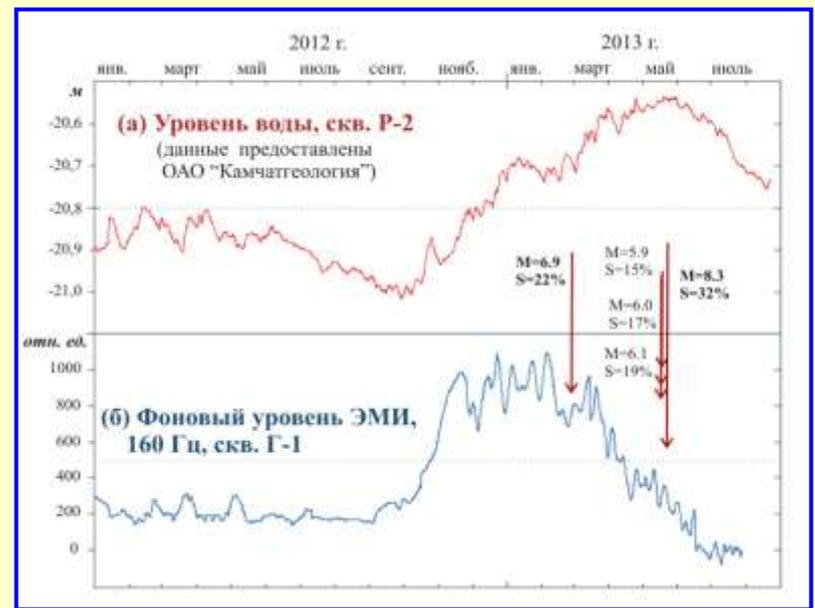
Для алевролита уменьшение влажности с 0.54% до 0.44%

приводит к увеличению удельного сопротивления примерно в

500 раз [Пархоменко, Бондаренко, 1960; Пархоменко, 1965]. В

этом случае коэффициент затухания изменится в **22 раза**.

Сопоставление результатов мониторинга удельной электропроводности пород с данными измерений уровня воды скважины Р-2



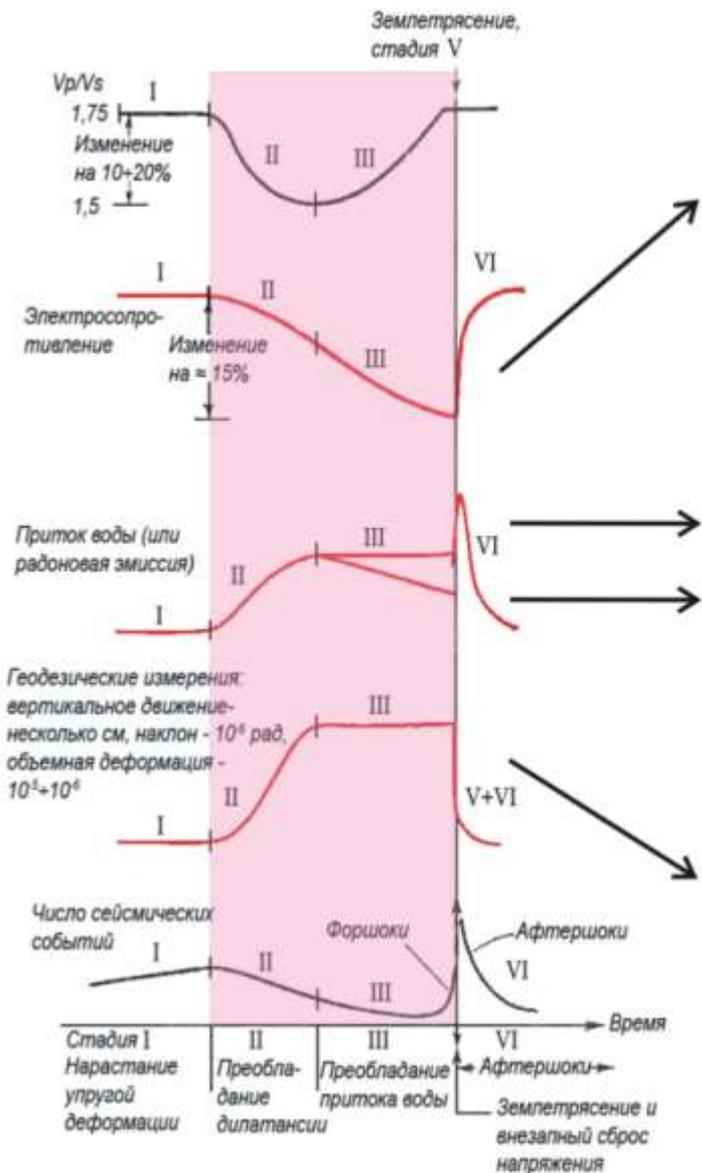
РОСТ СЖИМАЮЩИХ НАПРЯЖЕНИЙ



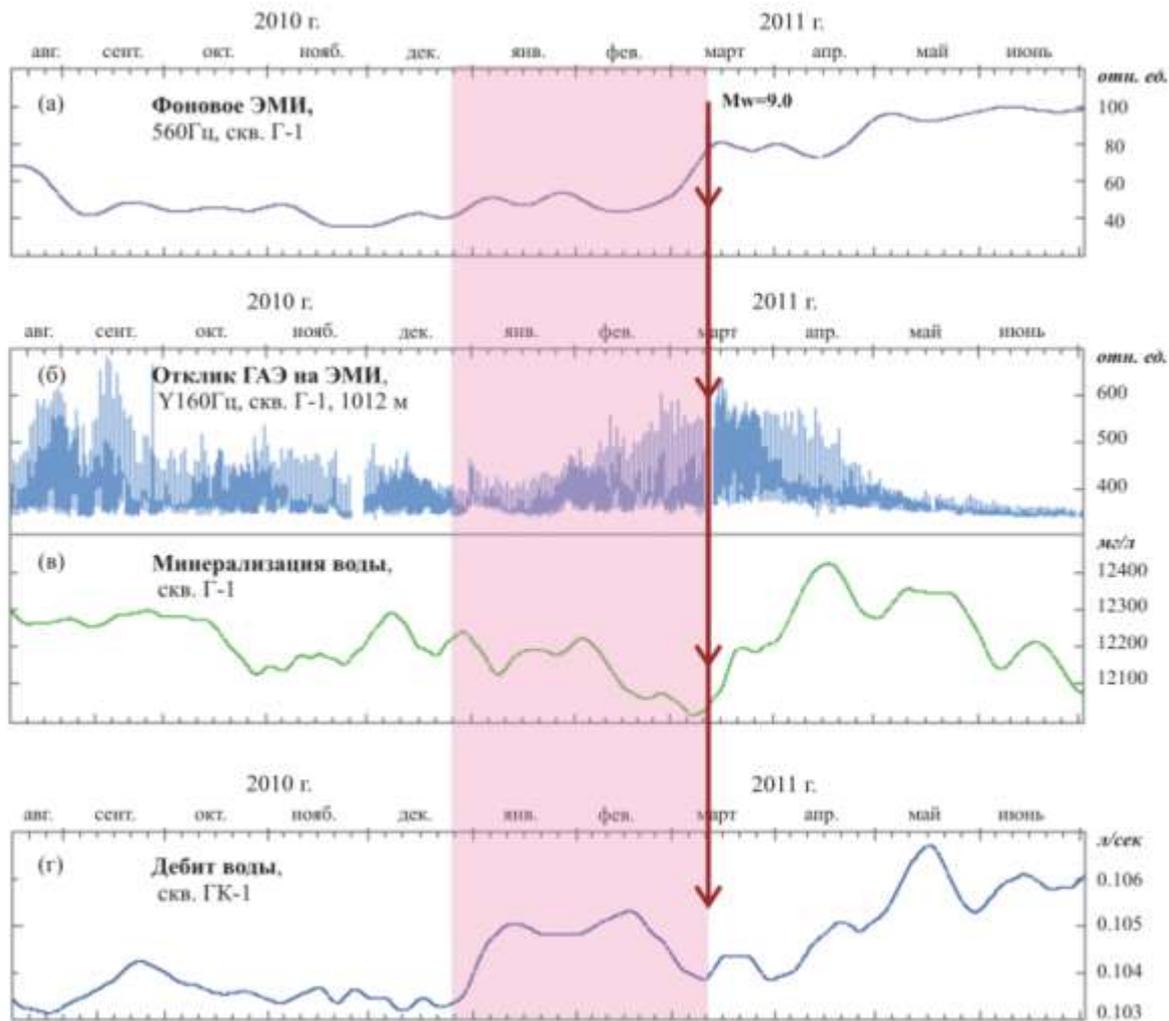
ДИЛАТАЦИОННОЕ УВЕЛИЧЕНИЕ ОБЪЕМА ПОРОД



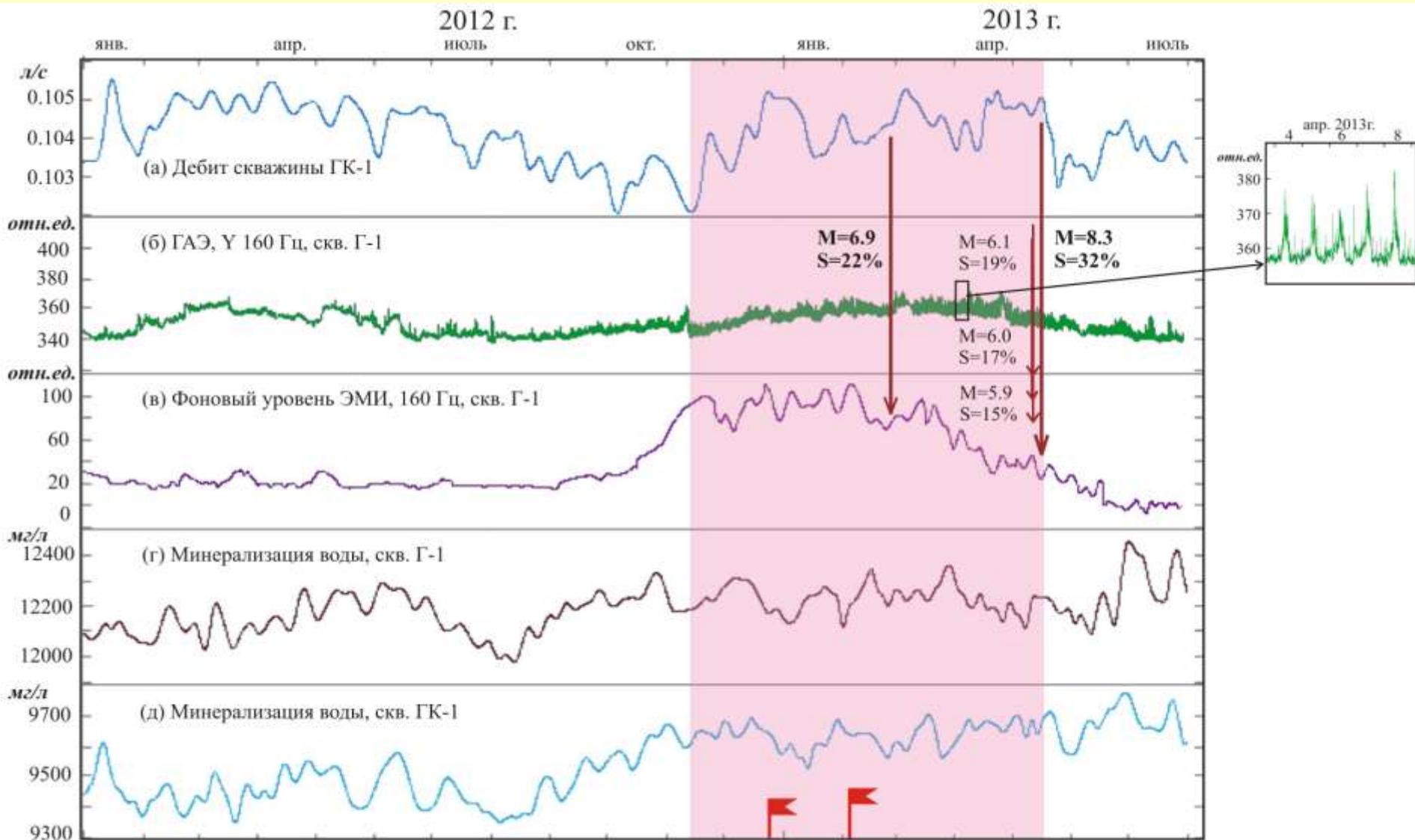
[Scholz et al., 1973]



[Gavrilov et al., 2013]



Стадия дилатансии во временной окрестности сильнейших камчатских землетрясений 2013 г.

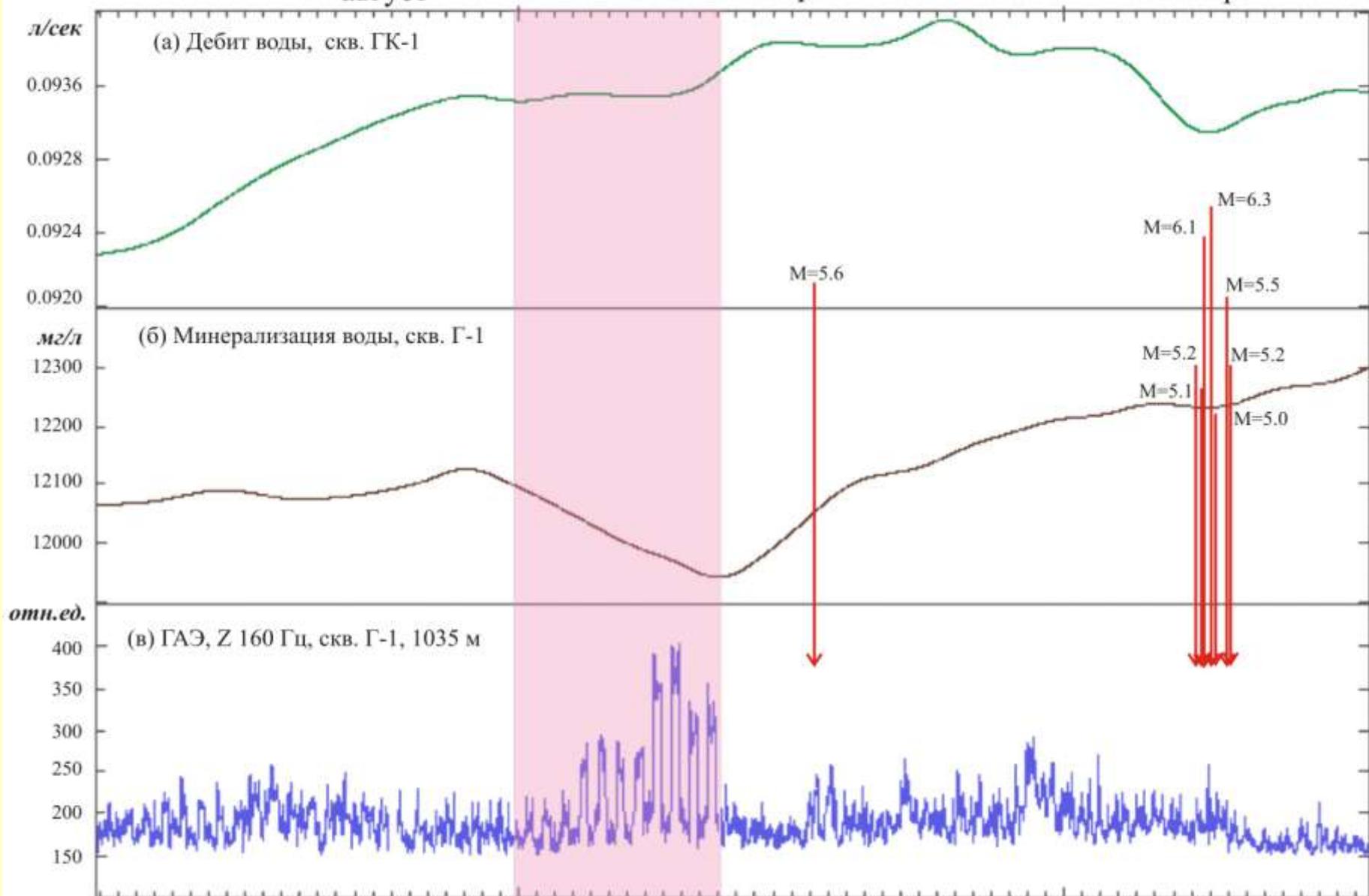


2001 г.

август

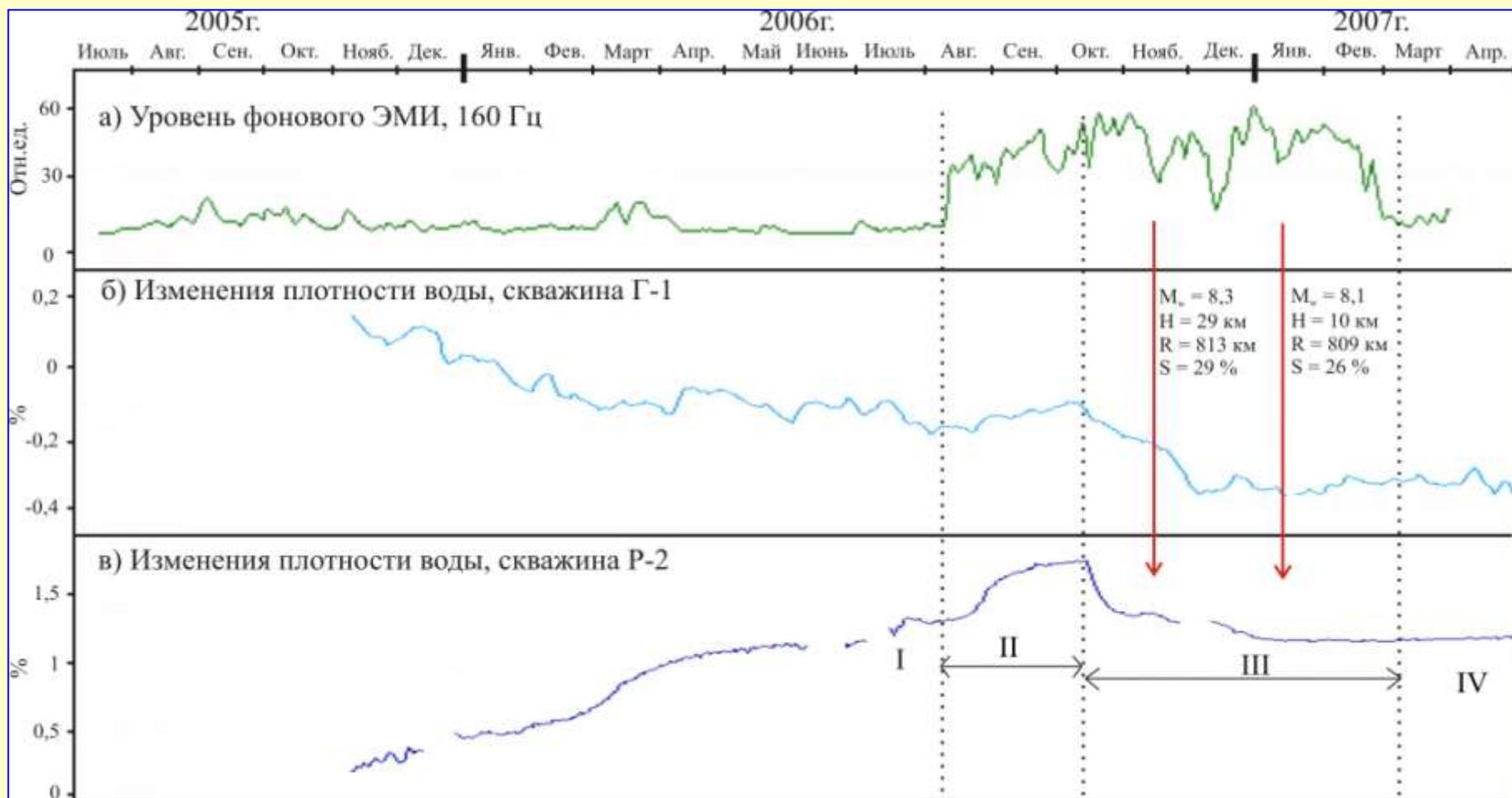
сентябрь

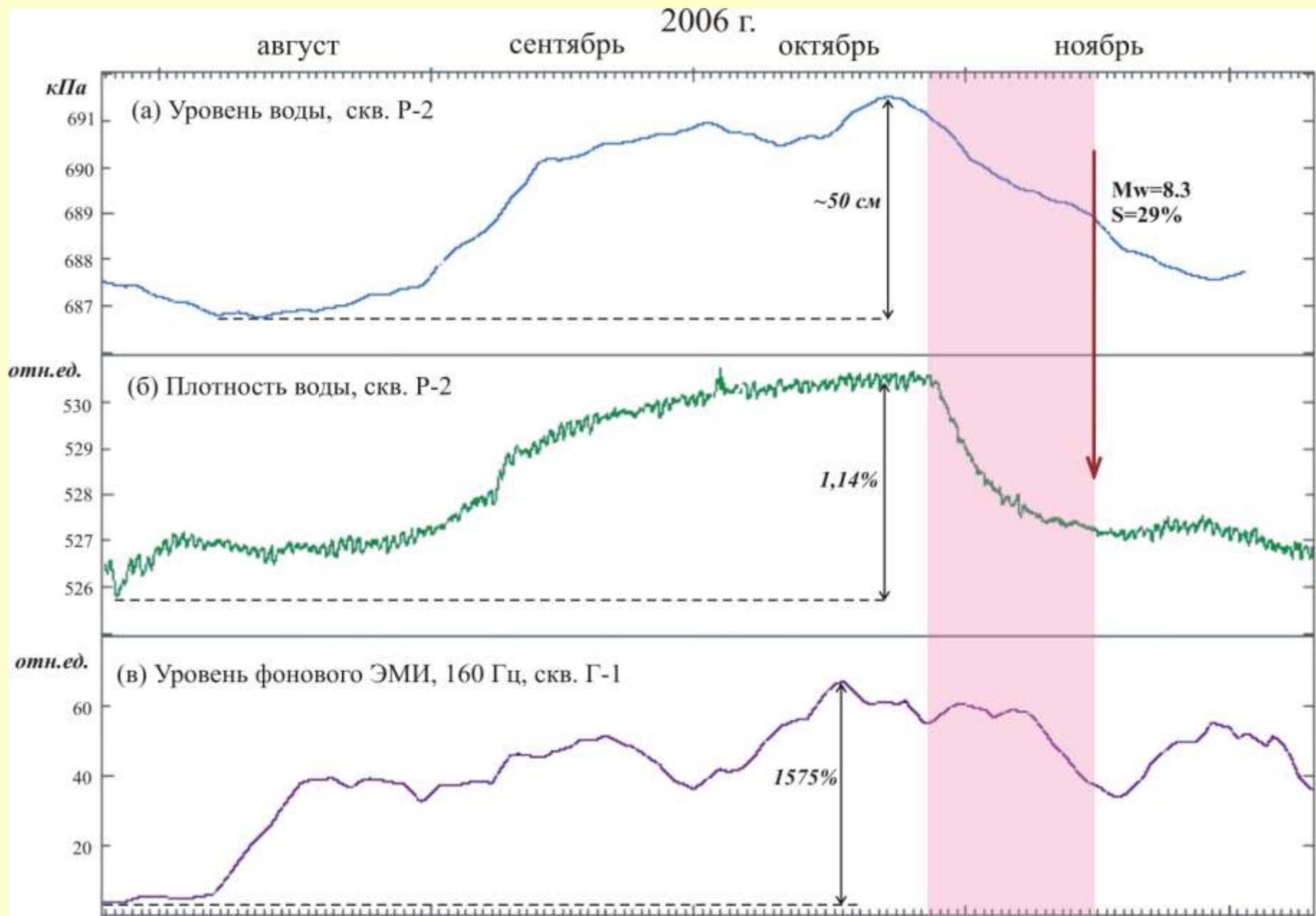
октябрь



МОНИТОРИНГ ПЛОТНОСТИ ВОДЫ СКВАЖИН

Физическая основа метода – изменение проницаемости геосреды вследствие изменений напряженного состояния





Результаты численного моделирования поля напряжений в упругом полупространстве с точечным источником [А.С.Алексеев и др., 2001]:

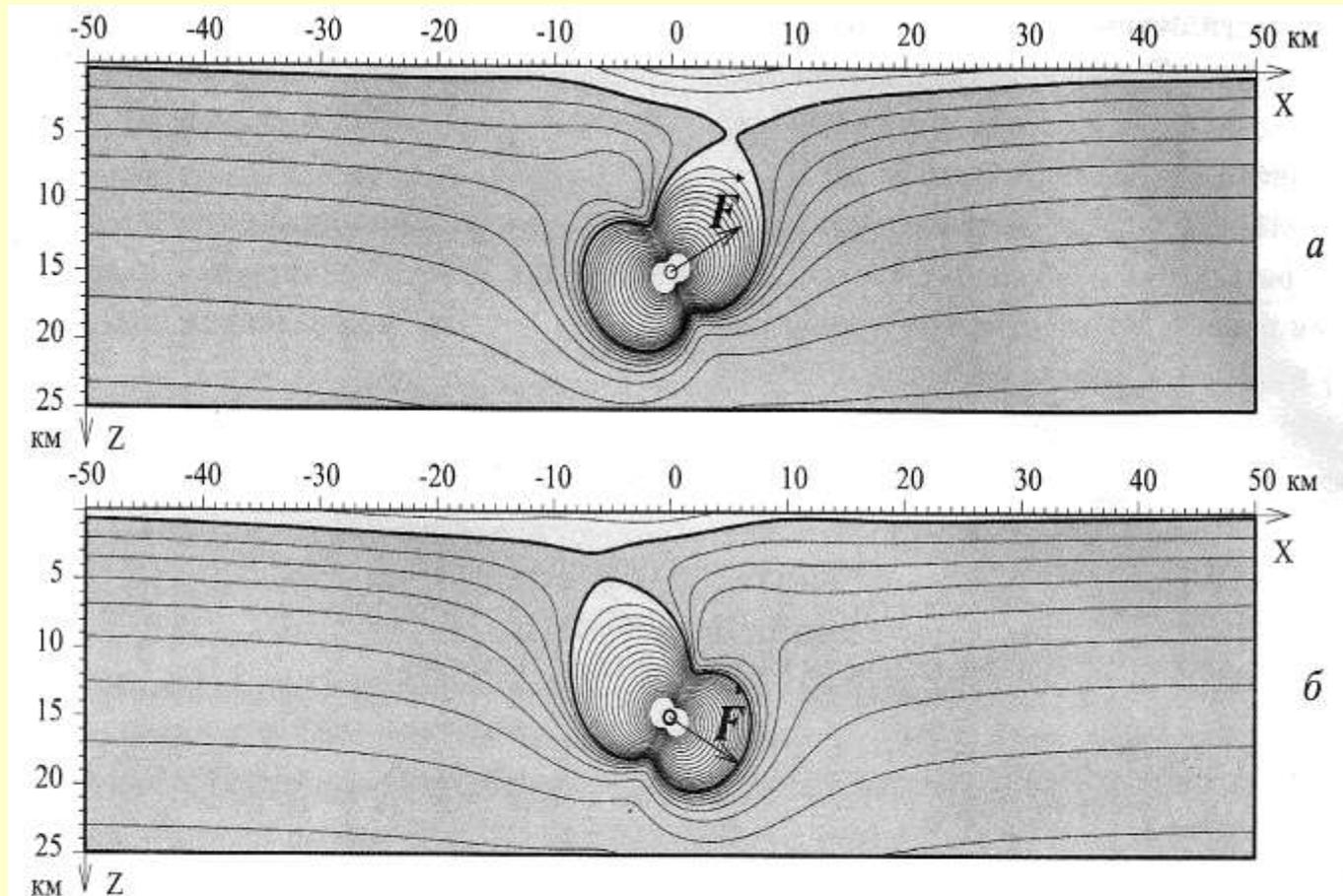
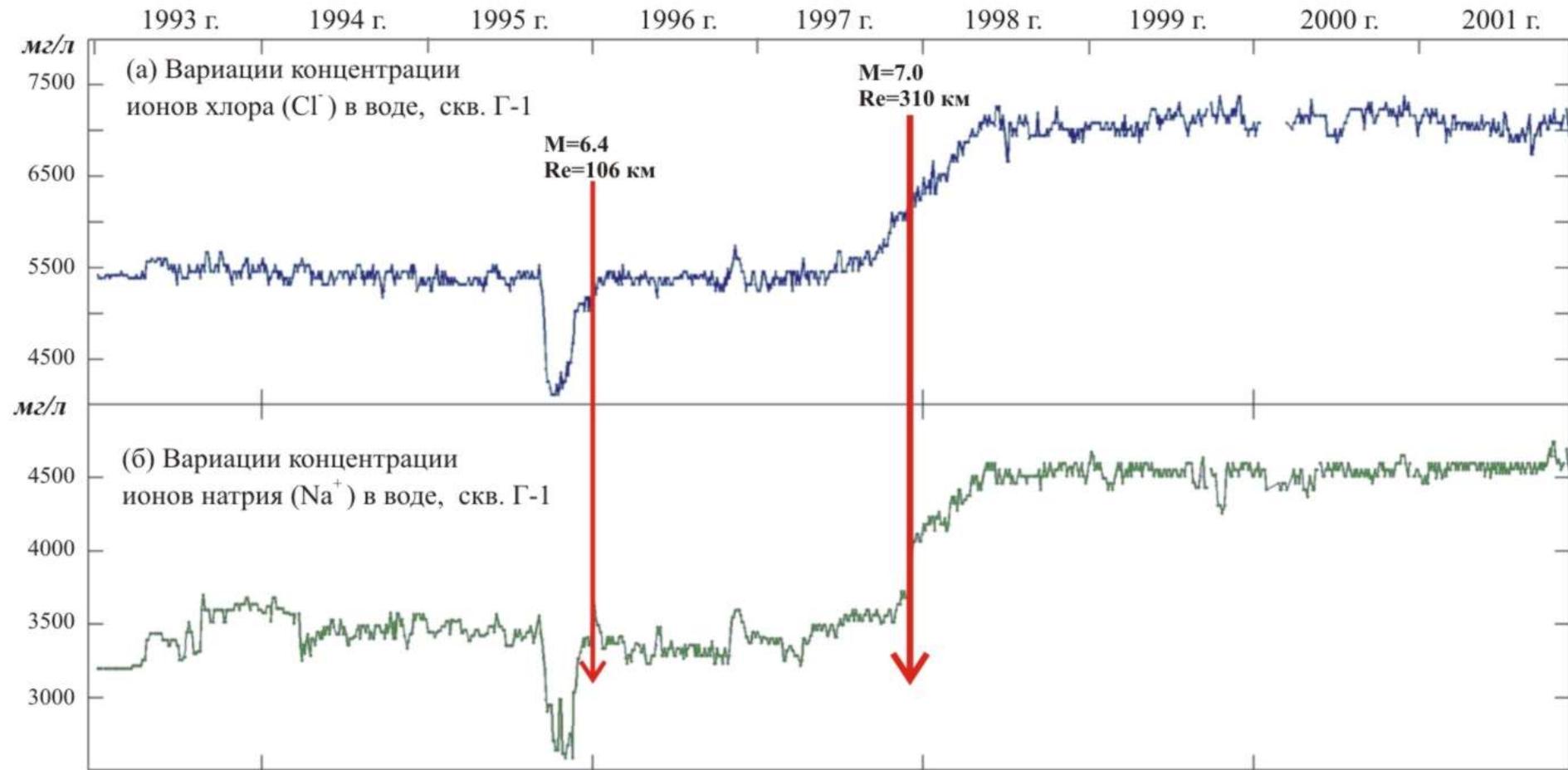
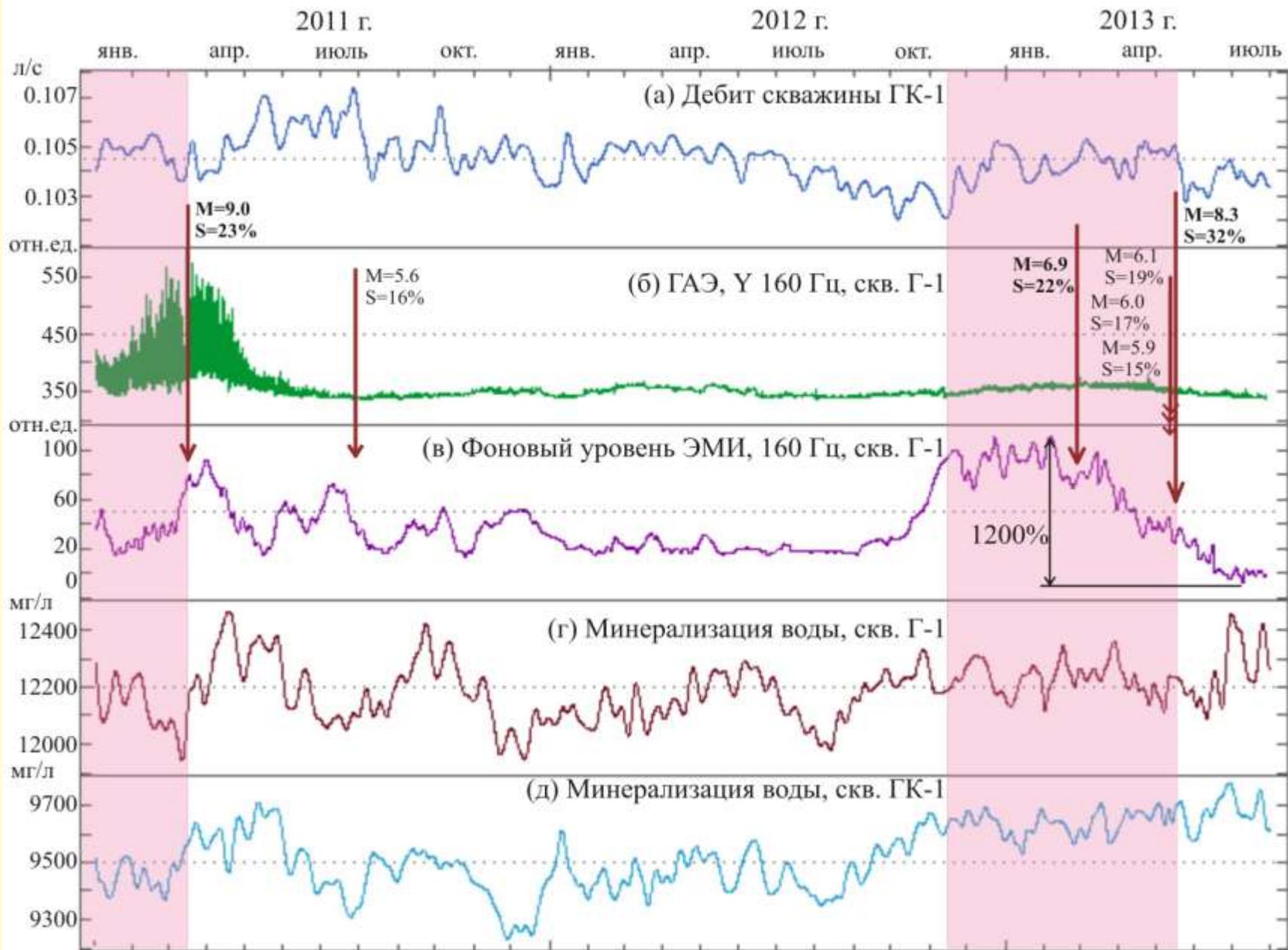


Рис.1. Форма “очаговой” и “поверхностной” зон дилатансии в сечении $y = 0$, источник на глубине $h = 15$ км, сила $\vec{F} = F \vec{n}$, $F = 5 \times 10^{16}$ Н, $\vec{n} = (\cos \vartheta, 0, \sin \vartheta)$: (a) $\vartheta = -30^\circ$, (б) $\vartheta = +30^\circ$

ПРИМЕРЫ ОБРАТИМЫХ И НЕОБРАТИМЫХ ИЗМЕНЕНИЙ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА ВОДЫ СКВАЖИНЫ Г-1





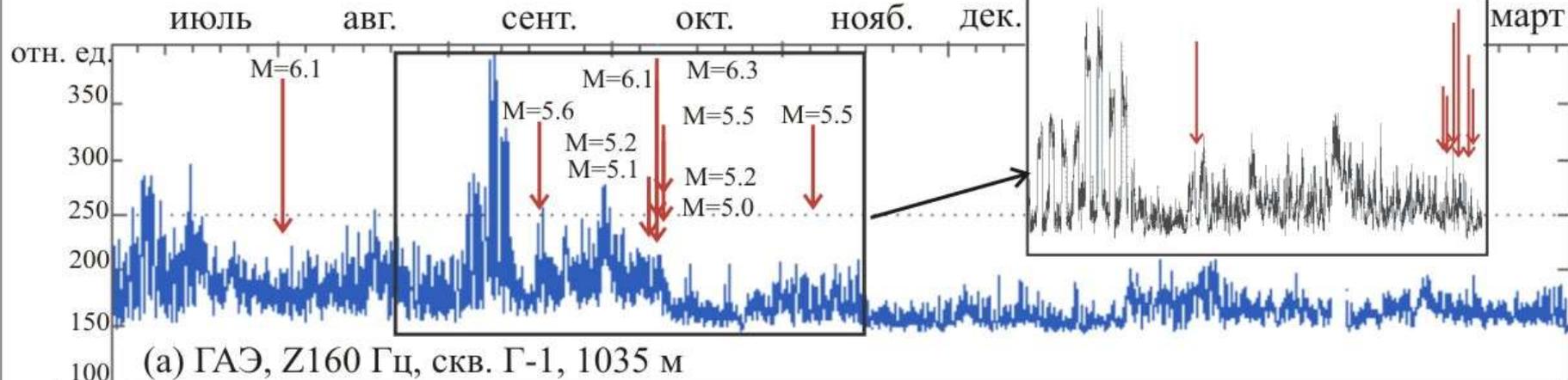
ВЫВОДЫ

1. Результаты многолетних комплексных скважинных измерений на Петропавловск-Камчатском геодинамическом полигоне показывают, что во временных окрестностях сильных сейсмических событий характер данных соответствует дилатансионным изменениям объемов пород в районах скважин.
2. При разработке методов краткосрочного и среднесрочного прогноза землетрясений необходимо учитывать, что подготовка и реализация относительно близких сильных сейсмических событий может приводить к необратимым изменениям параметров геосреды. По этой причине формализация и детализация «предвестников» по результатам отдельных видов измерений вряд ли заслуживают серьезного внимания.

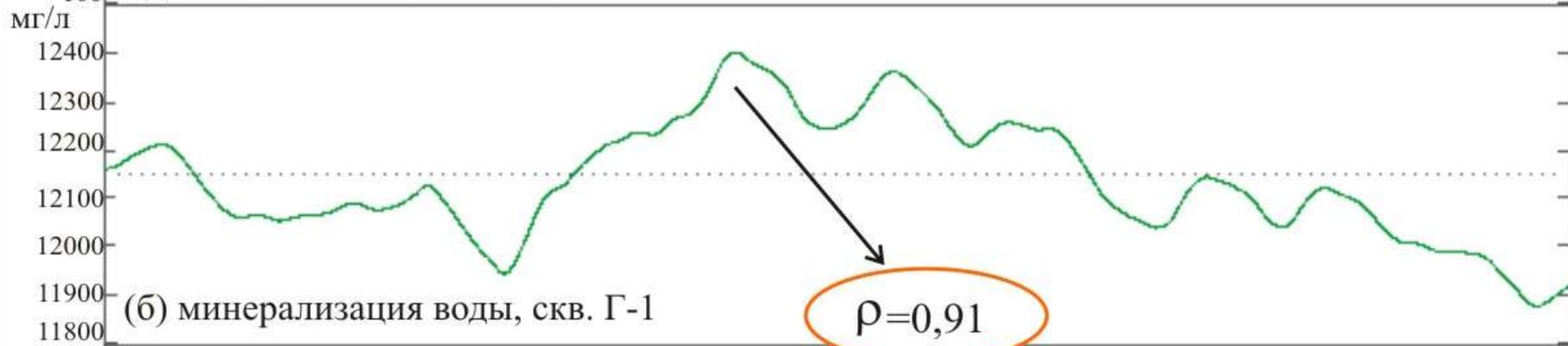
СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ!

2001 г.

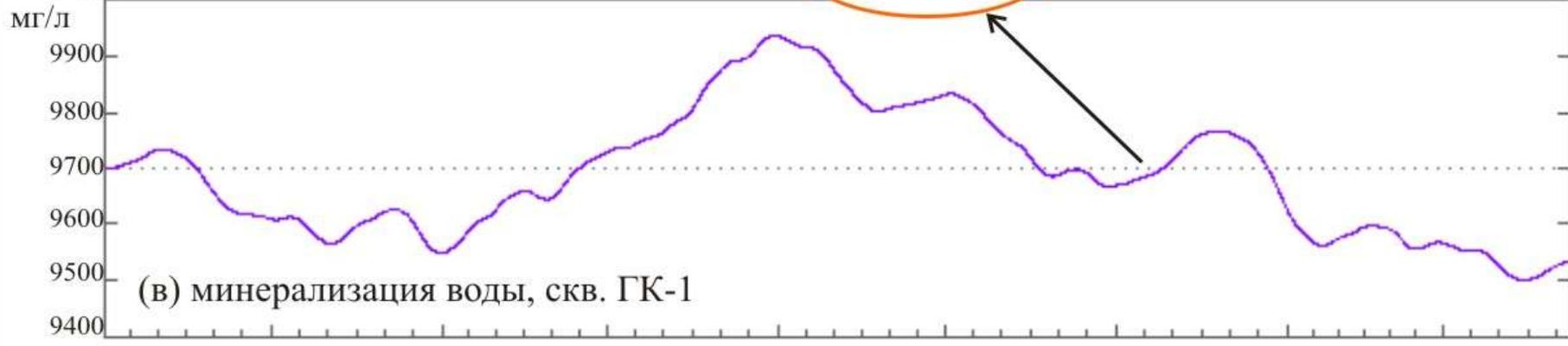
2002 г.



(а) ГАЭ, Z160 ГЦ, скв. Г-1, 1035 м



(б) минерализация воды, скв. Г-1



(в) минерализация воды, скв. ГК-1

