



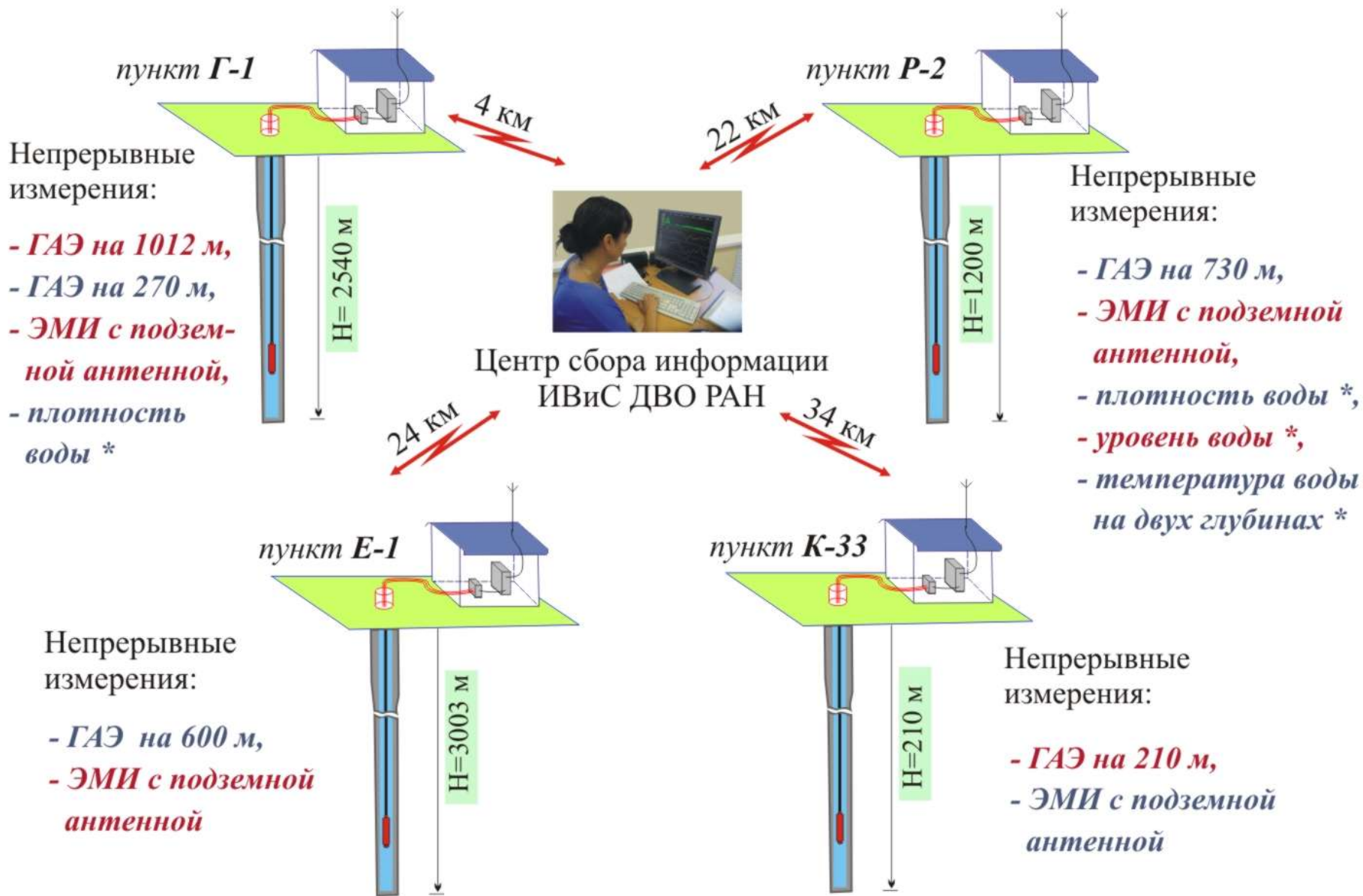
**СКВАЖИННЫЕ КОМПЛЕКСНЫЕ  
ГЕОФИЗИЧЕСКИЕ ИЗМЕРЕНИЯ  
НА КАМЧАТКЕ:**

**ПРОГНОЗ ЮЖНО-КАМЧАТСКОГО  
ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ (28.02.2013 г.,  $M_w=6.9$ )**

*В.А. Гаврилов, Ю.Ю. Бусс, Ю.А. Власов, В.П. Денисенко,  
Ю.В. Морозова, Е.В. Полтавцева, О.В. Федористов*  
Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН

К настоящему времени ИВиС ДВО РАН располагает сетью скважинных комплексных геофизических измерений на Петропавловск – Камчатском геодинамическом полигоне. Начало измерений – август 2000 г. При создании сети соблюдались следующие базовые принципы:

1. Разработка **новых, физически обоснованных методов** геофизического мониторинга, позволяющих в комплексе оценивать текущее напряженное состояние геосреды.
2. Акцент на **скважинные измерения** в достаточно глубоких скважинах в целях минимизации влияния шумов дневной поверхности, а также использования методов, не реализуемых при измерениях на поверхности.
3. Проведение мониторинга достаточно разветвленной **сетью** измерений в целях выявления наиболее характерных закономерностей изменений текущего напряженного состояния геосреды.
4. Разработка при необходимости **собственных технических средств.**



\* - временно приостановлены

**Геоакустические измерения:** используются скважинные геофоны с пьезоэлектрическими акселерометрами типа А1612, частотный диапазон...  $0.1 \div 1000$  Гц; коэффициент преобразования...  $1 \text{ В} \cdot \text{с}^2 \cdot \text{м}^{-1}$ ; уровень собственных шумов... не более  $2 \cdot 10^{-5} \text{ м} \cdot \text{с}^{-2}$

*Дополнительно:*

аналоговые гидрофоны Г61 Н, цифровые гидрофоны ЦГП-4.



# ПРЕИМУЩЕСТВА ПОДЗЕМНЫХ АНТЕНН:

*1. Возможность оценки изменений параметров геосреды при подготовке землетрясений.*

*2. Возможность применения относительно небольших антенн за счет значительного (на порядки) уменьшения длины волны при распространении в геосреде:*

$\lambda_z = \lambda / n$ , где  $\lambda$  – длина волны в атмосфере

$$n = \sqrt{0.5(\varepsilon + \sqrt{\varepsilon^2 + (60 \cdot \lambda \cdot \sigma)^2})}$$

для  $f=160$ Гц: в атмосфере:  $\lambda \approx 2000$  км.

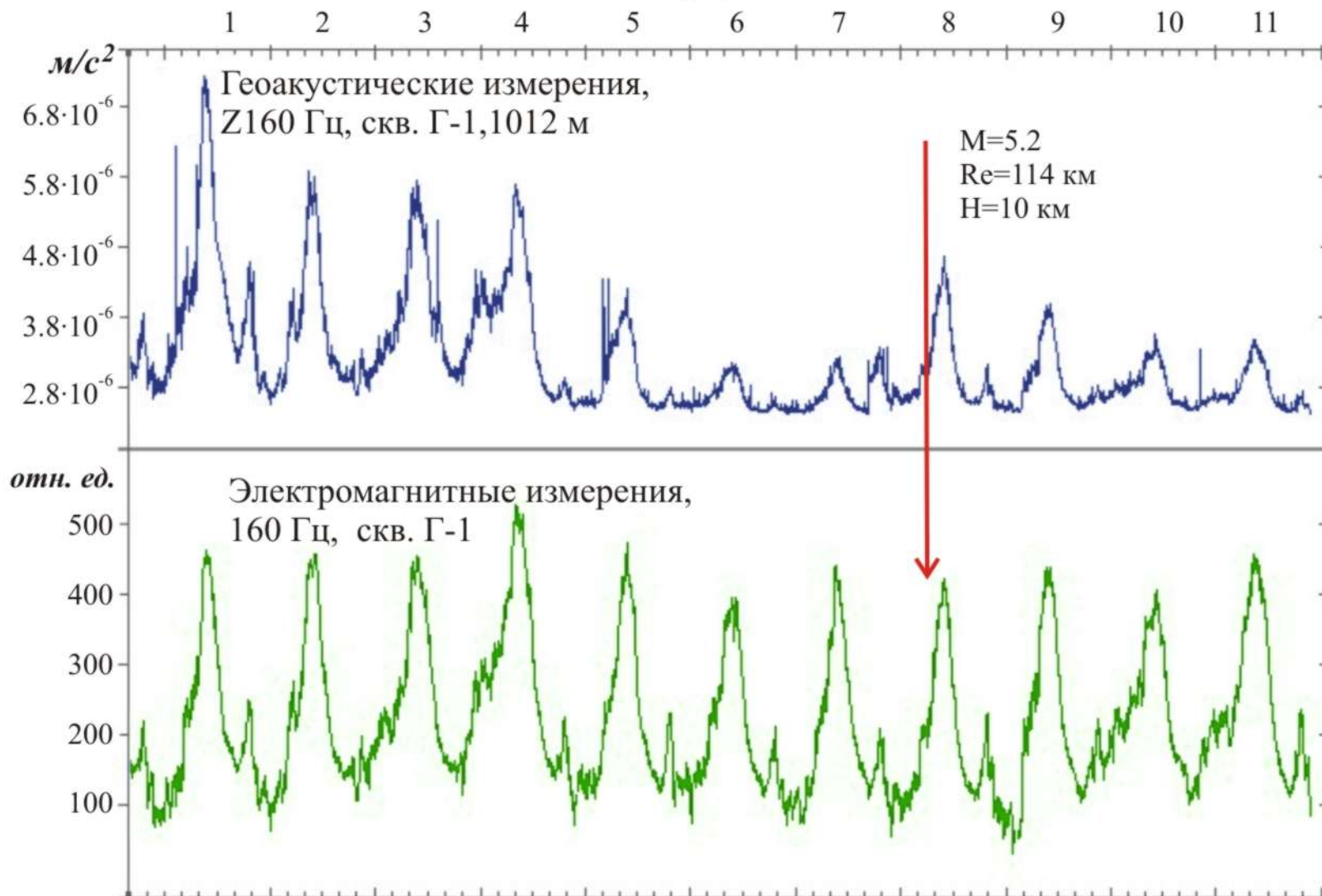
В геосреде: при  $\sigma=10^{-2}$  См/м и  $\varepsilon=8,0$   $\lambda_z \approx 2,6$  км.

При  $\sigma=2 \cdot 10^{-3}$  См/м и  $\varepsilon=20,0$   $\lambda_z \approx 5,6$  км.

*3. Безусловные преимущества при регистрации электромагнитного излучения литосферного происхождения (вектор Пойтинга-Умова будет всегда направлен в сторону земли).*

# Эффект модулирующего воздействия внешнего ЭМИ на интенсивность ГАЗ

Октябрь, 2009 г.



## Физическая суть эффекта

Интенсивность ГАЭ определяется плотностью суммарного тока во флюидонасыщенной геосреде:

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

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

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

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

$n_+, n_-$  - концентрации катионов и анионов,

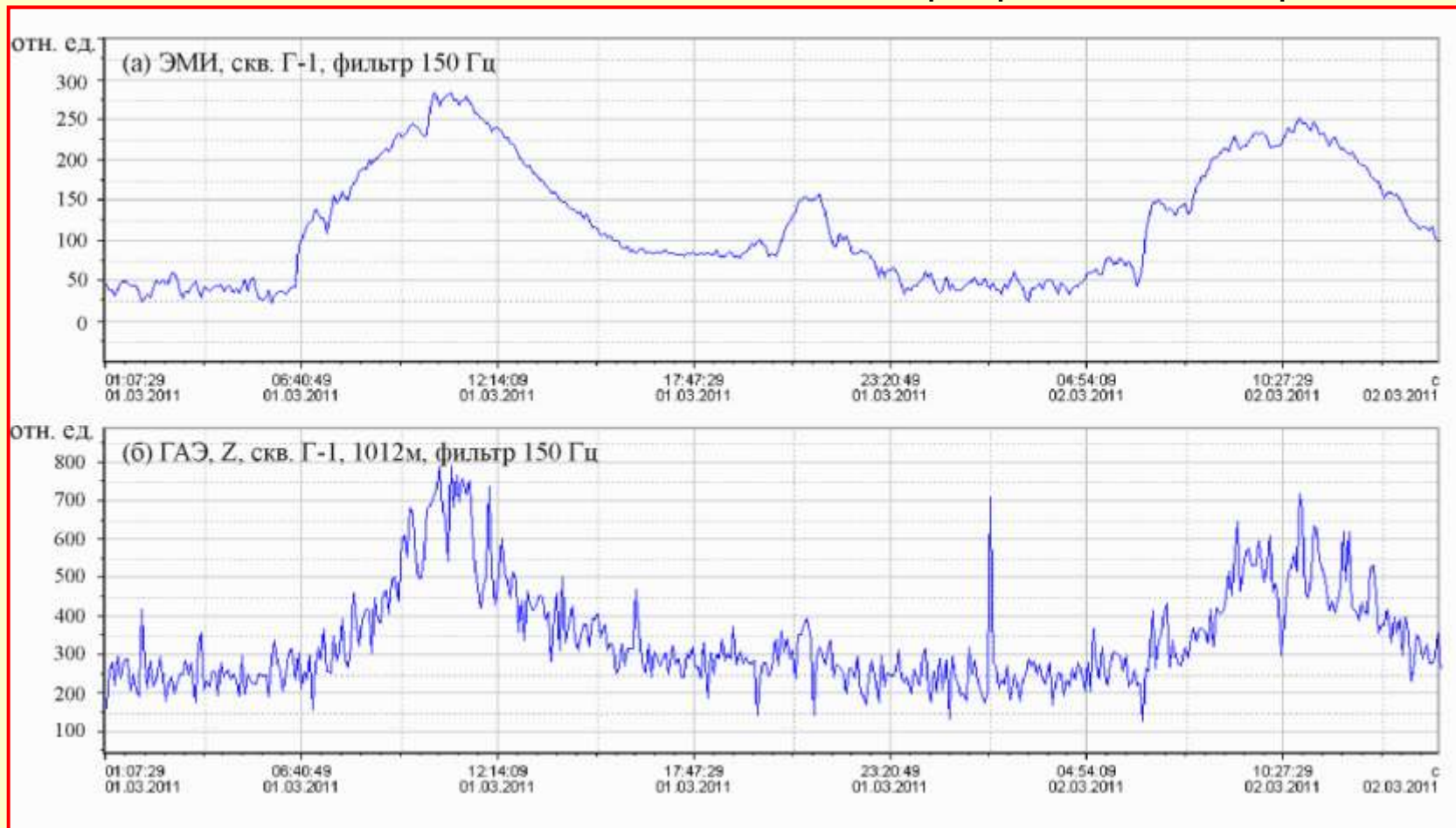
$\varphi$  - потенциал течения       $P$  - поровое давление,

# Периоды фоновой сейсмичности

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

$\vec{E}$  - напряженность электрического поля,

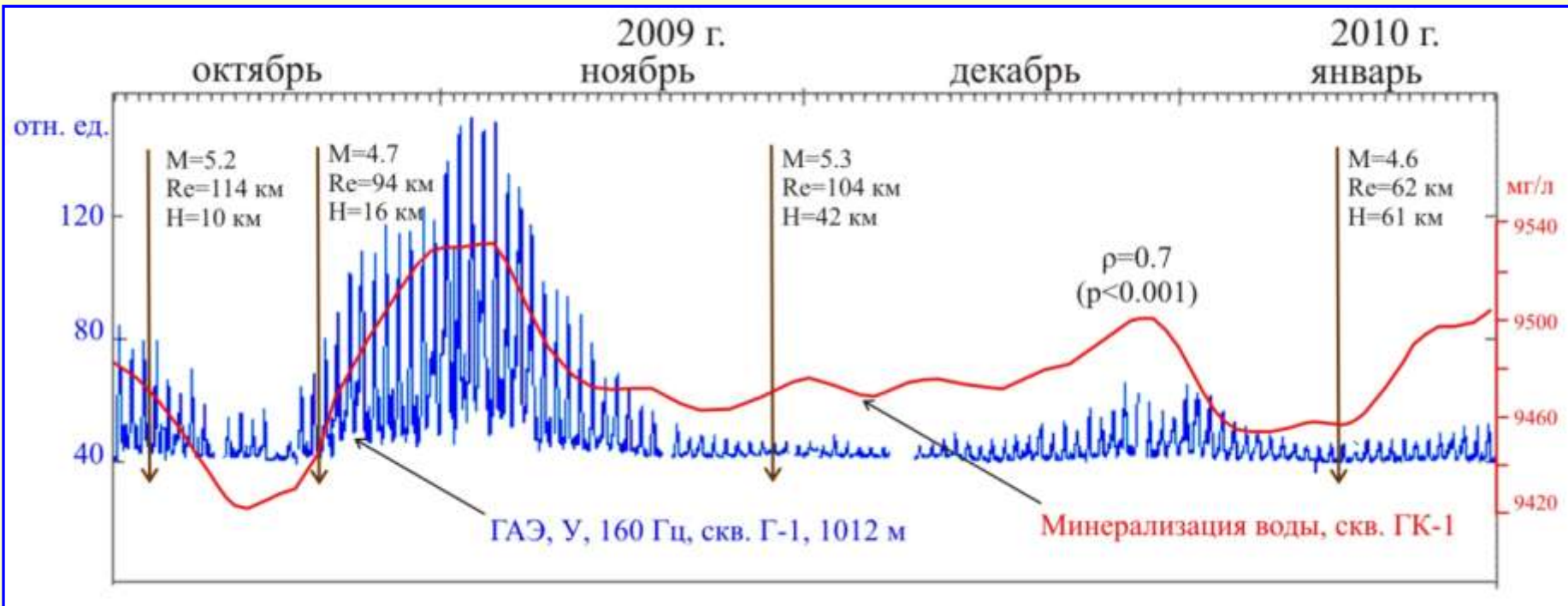
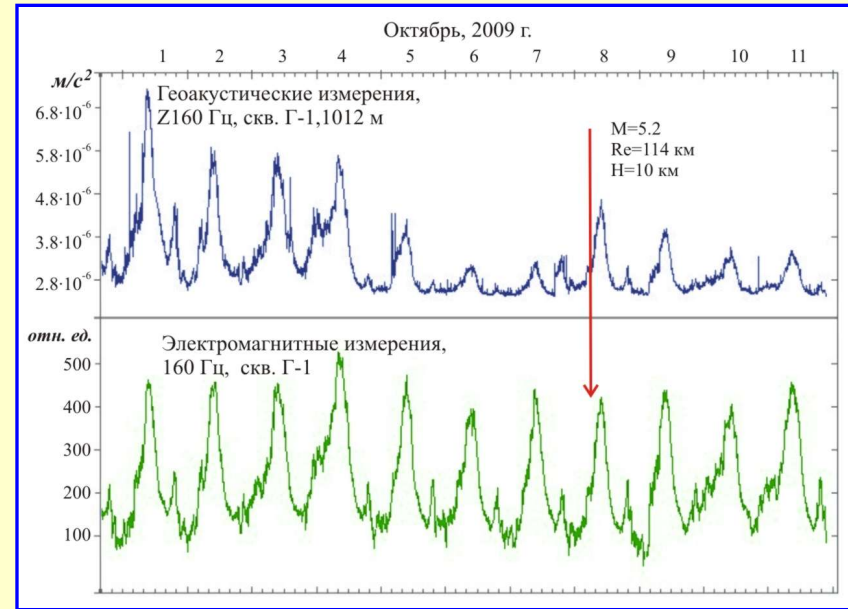
$\sigma$  – удельная электропроводность породы





# Изменения интенсивности ГАЭ при изменениях удельной электропроводности пород:

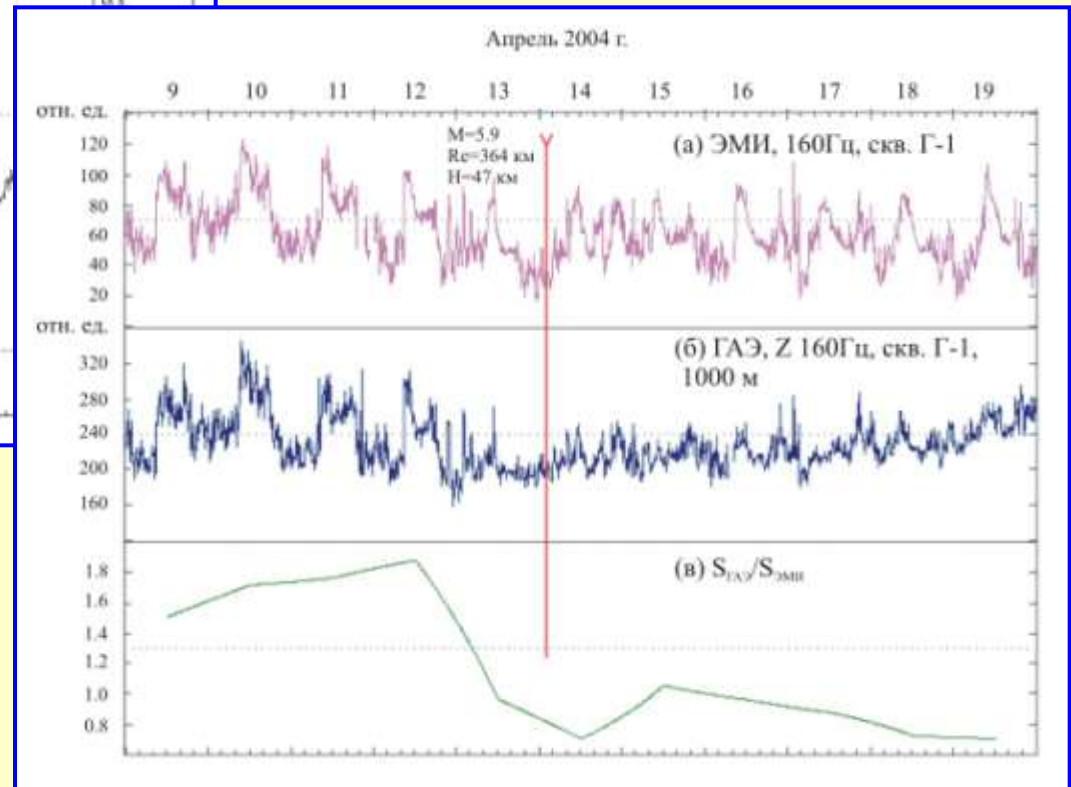
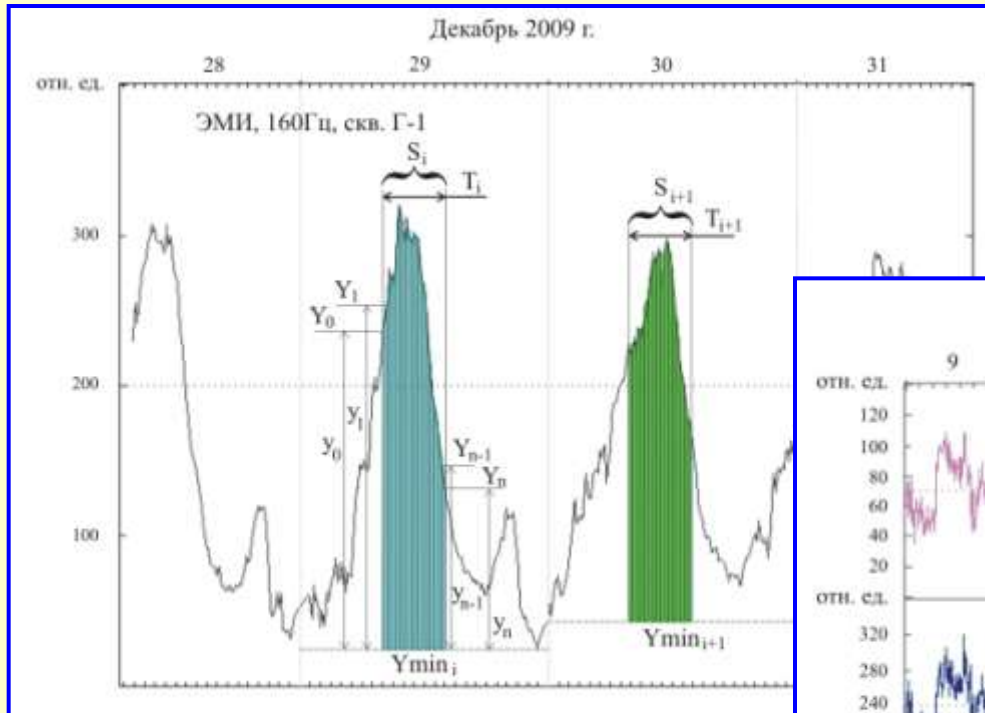
$$\vec{j}_E = \sigma \vec{E}$$



## Контроль откликов ГАЭ на электромагнитное воздействие:

Для каждых суток рассчитывается величина  $S_{\text{ГАЭ}}/S_{\text{ЭМИ}}$ , где  $S_{\text{ГАЭ}}/S_{\text{ЭМИ}}$  – соответственно площади СКЗ сигналов ГАЭ и ЭМИ для одного и того же временного промежутка:

$$S = h \bullet \left( \frac{y_0 + y_1}{2} + \frac{y_1 + y_2}{2} + \dots + \frac{y_{n-1} + y_n}{2} \right)$$



## Мониторинг удельной электропроводности пород:

Для электромагнитной волны в геосреде, затухание амплитуд напряженностей электрического и магнитного полей определяется множителем  $e^{-\alpha}$ , где  $\alpha$  - 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  $\leq 4\%$  :

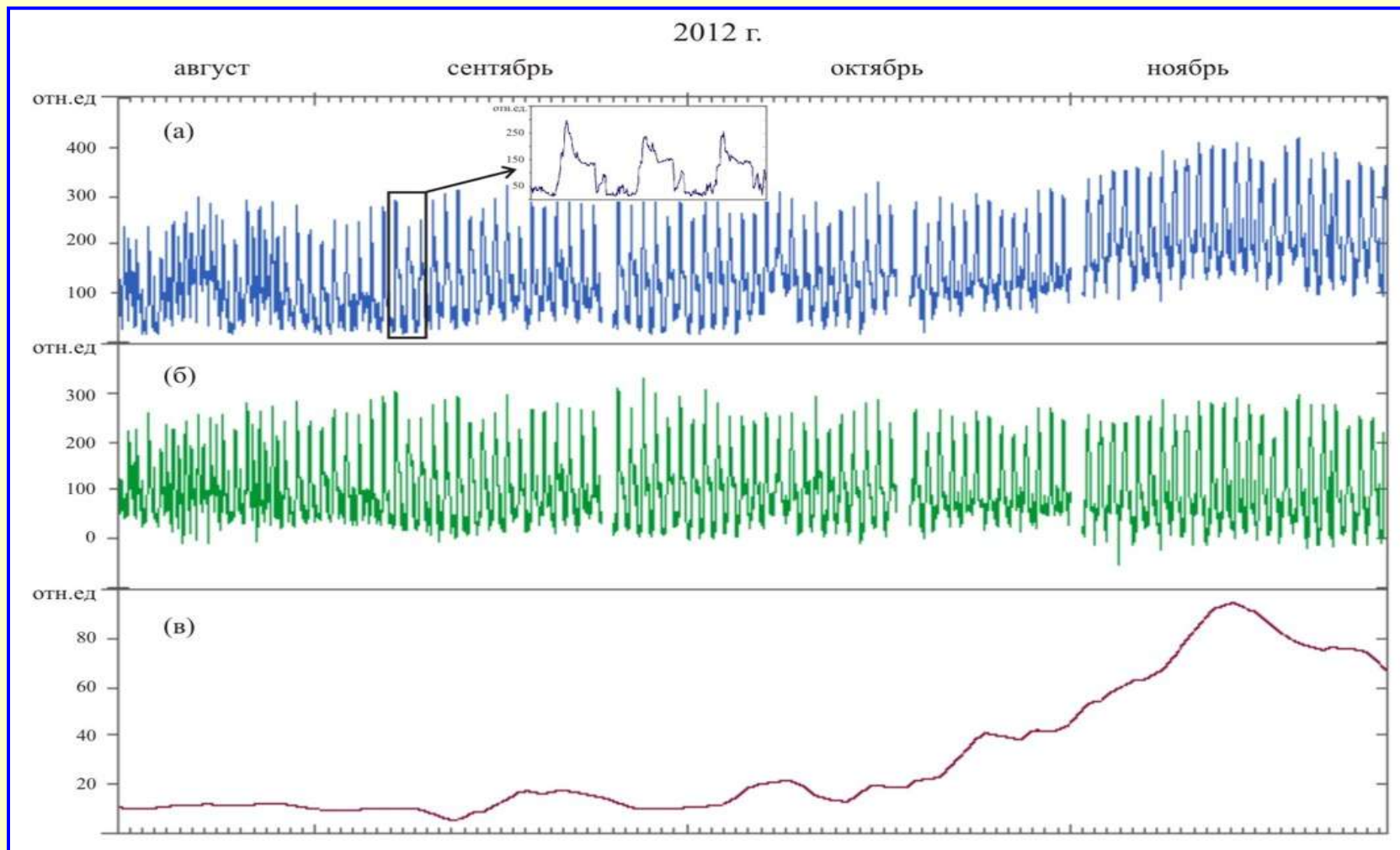
Для алевролита уменьшение влажности с  $0.54\%$  до  $0.44\%$

приводит к увеличению удельного сопротивления примерно в

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

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

# Мониторинг удельной электропроводности пород:

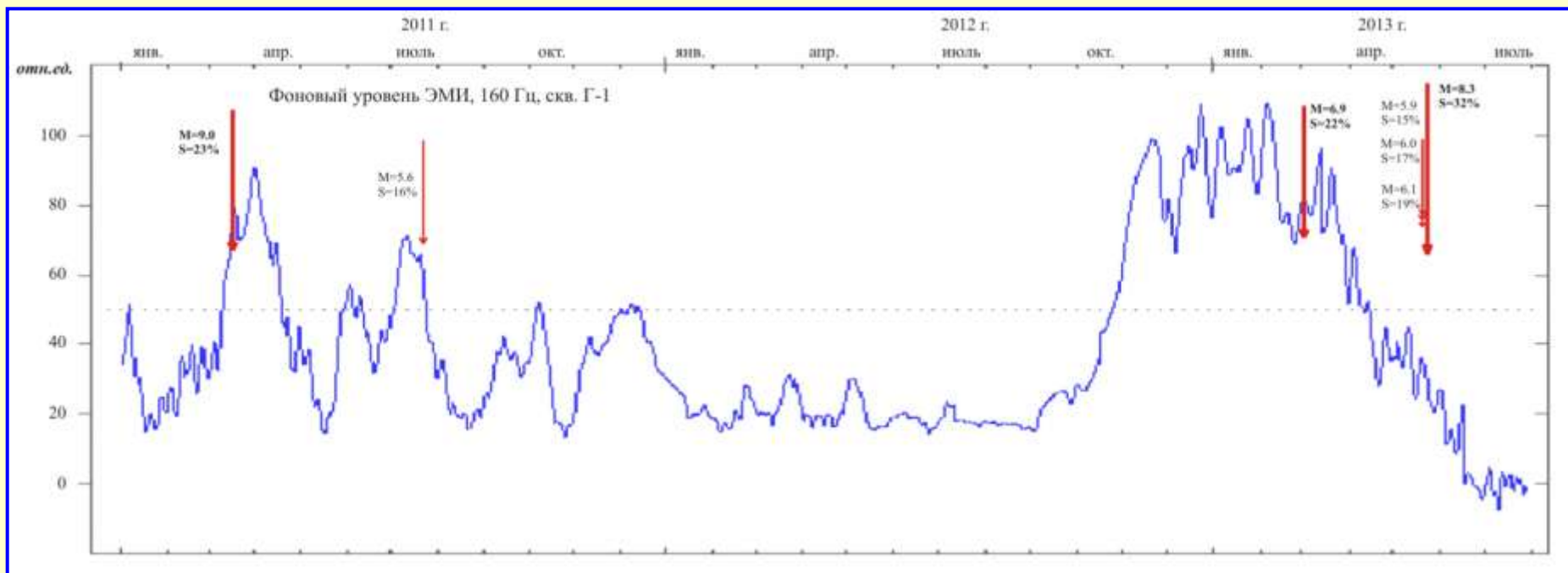


*а)-исходный ряд ЭМИ, полоса  $160 \pm 20$  Гц;*

*(б)- ряд после устранения тренда;*

*(в) – минимальные значения ряда, сглаженные в скользящем окне 20 суток*

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



# РОСТ СЖИМАЮЩИХ НАПРЯЖЕНИЙ

Увеличение  
градиента  
порового  
давления

Выжимание флюида из зон  
повышенной трещиноватости

Уменьшение  
пористости  
пород

Уменьшение удельной  
электропроводности  
пород

Уменьшение  
плотности тока  
проводимости пород

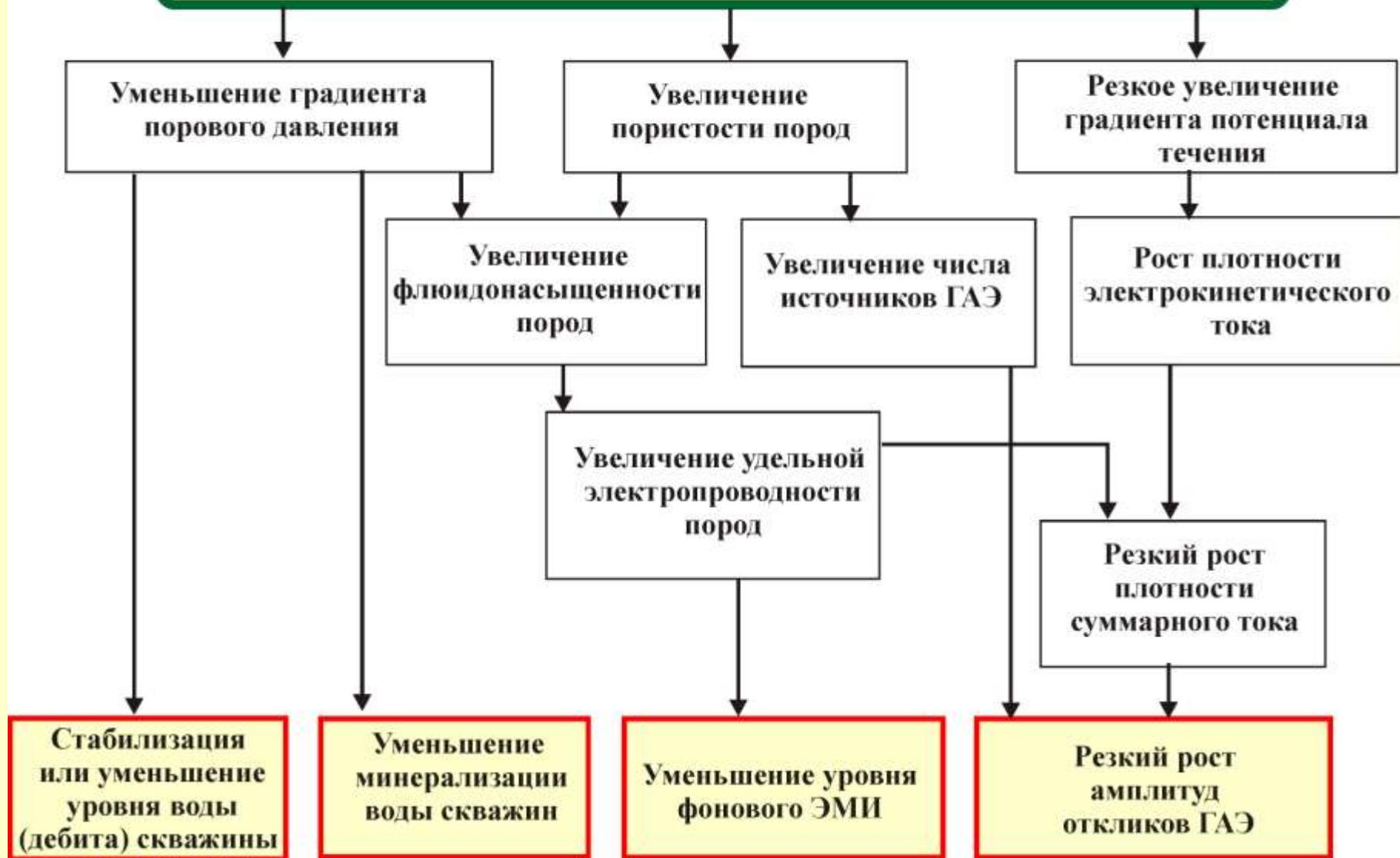
Увеличение  
минерализации  
воды скважин

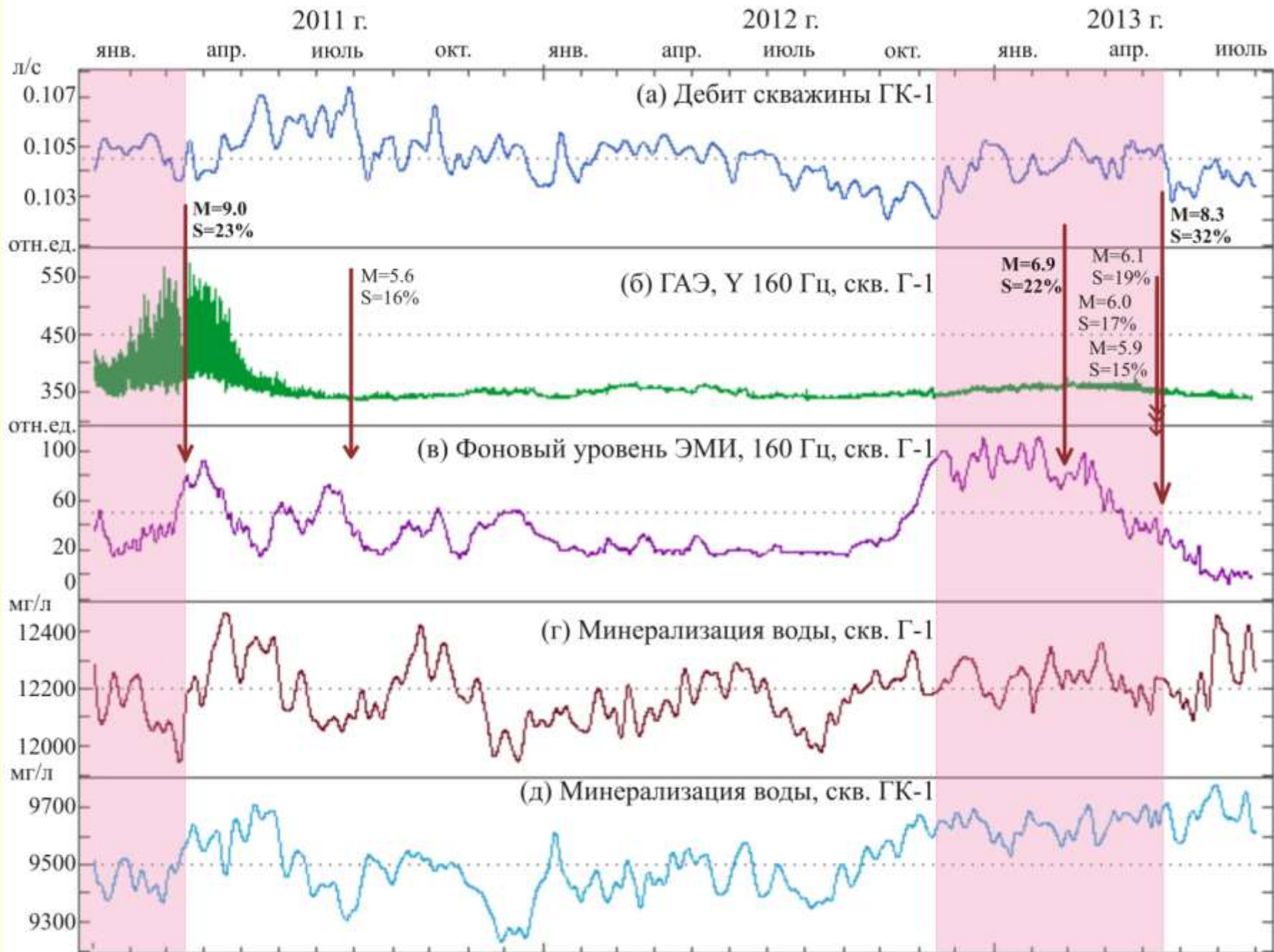
Повышение уровня  
и дебита воды  
скважин

Увеличение уровня  
фонового ЭМИ

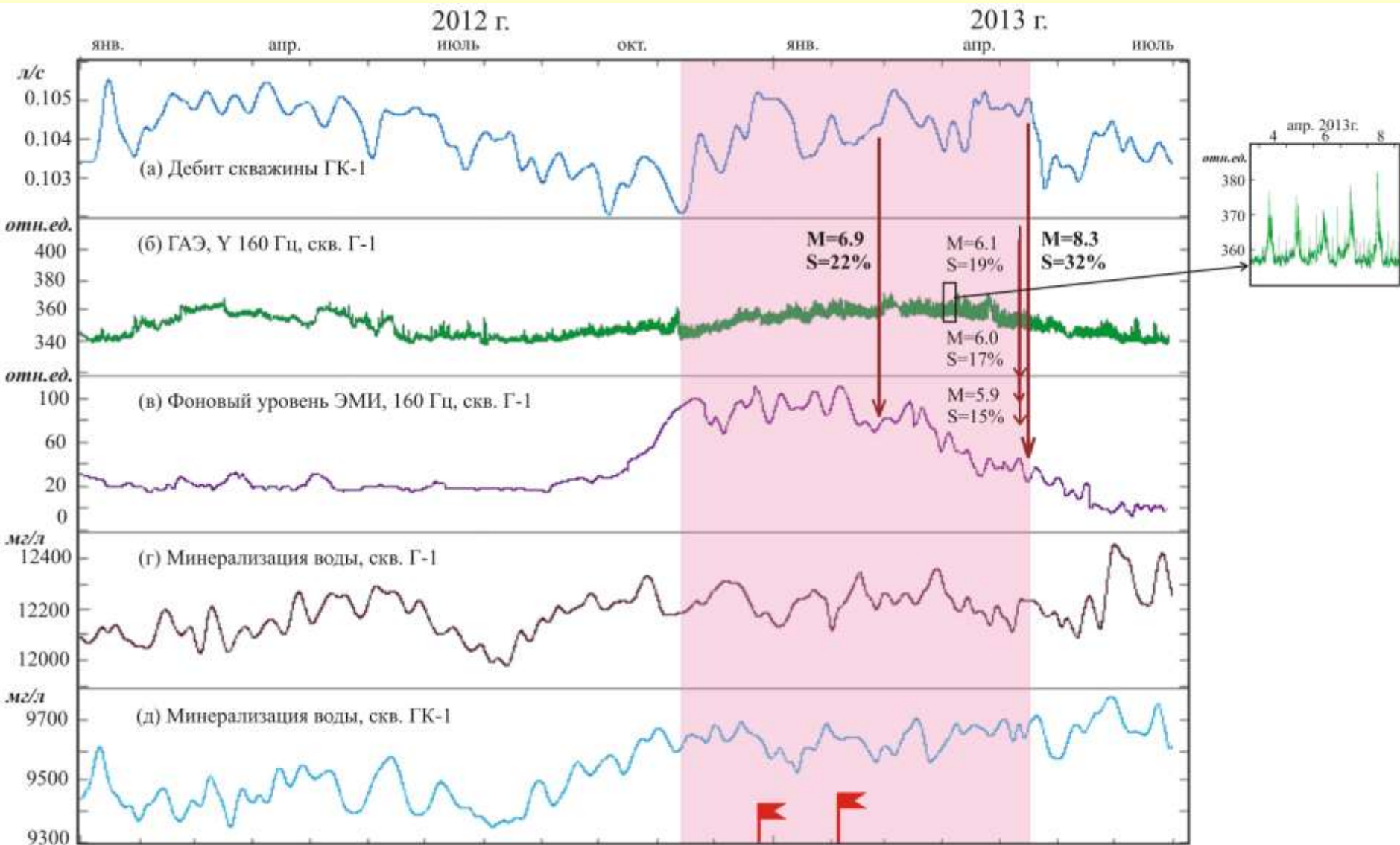
Уменьшение  
откликов ГАЭ на  
электромагнитное  
воздействие

# ДИЛАТАЦИОННОЕ УВЕЛИЧЕНИЕ ОБЪЕМА ПОРОД









**Заключение о сейсмической опасности для Камчатского края  
по состоянию на «04» февраля 2013 г.**

1. **Организация.** Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН
2. **Виды наблюдений.** Скважинные геоакустические измерения; измерения электрической составляющей электромагнитного поля Земли в СНЧ-диапазоне частот с помощью подземной антенны.
3. **Пункты наблюдений.** Г-1, Р-2, К-33, Е-1
4. **Время последнего наблюдения** 04 февраля 2013 г.
5. **Характеристики режима наблюдений.**

Геоакустические измерения ведутся в скважине Г-1 на глубинах 1024 м и 270 м, в скважине Р-2 на глубине 730 м, в скважине К-33 на глубине 200 м, в скважине Е-1 на глубине 600 м. Для электромагнитных измерений используется подземные электрические антенны оригинальных конструкций.

Регистрация данных – цифровая с частотой 32 Гц на канал. Данные передаются в ИВиС ДВО РАН по телеметрическим каналам по запросу оператора (в обычном режиме - ежедневно, кроме выходных и праздничных дней).

6. **Анализируемые параметры, их количество, общее число каналов регистрации.**

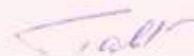
Анализируемые параметры:

- 1) нормированные амплитуды откликов геоакустической эмиссии (ГАЭ) на внешнее электромагнитное воздействие для глубин 1012 м и 270 м (скважина Г-1);
- 2) уровень фонового электромагнитного излучения;
- 3) минерализация воды скважин Г-1 и ГК-1 (данные представлены зав. лаб. КФ ГС РАН к.г.-м.н. Г.В.Рябининым);
- 4) дебит скважины ГК-1 (данные представлены зав. лаб. КФ ГС РАН к.г.-м.н. Г.В.Рябининым).

**Заключение**

Анализ комплекса данных скважинных измерений дает основания для следующих выводов: на период с 04 февраля 2013 г. по 15 февраля 2013 г. включительно (время по Гринвичу) **значительно повышена вероятность землетрясений магнитуды  $M_{LH} \geq 6.5$  в зоне радиусом  $R \leq 300$  км от центра г.Петропавловска-Камчатского и  $M_{LH} \geq 7.0$  в зоне  $R \leq 550$  км от центра г.Петропавловска-Камчатского.**

Ведущий научный сотрудник ИВиС ДВО РАН, к.т.н  
04.02.2013 г.



В.А. Гаврилов

РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ НАУК  
КАМЧАТСКИЙ ФИЛИАЛ  
РОССИЙСКОГО ЭКСПЕРТНОГО СОВЕТА  
ПО ПРОГНОЗУ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ,  
ОЦЕНКЕ СЕЙСМИЧЕСКОЙ ОПАСНОСТИ  
И РИСКА

683006, Петропавловск - Камчатский  
бульвар Пийпа, 9  
телефон: (41522) 58898  
телефакс: (4152) 431850  
E-mail: chebr@emsd.ru

11.04.2013 № 67  
На № \_\_\_\_\_ от \_\_\_\_\_

Справка КФ РЭС № 30

Дана ведущему научному сотруднику ИВяС ДВО РАН, к.т.н. Гаврилову Валерию Александровичу в том, что в период декабрь 2012 г. – февраль 2013 г. в Камчатский филиал Российского экспертного совета по прогнозу землетрясений, оценке сейсмической опасности и риска (КФ РЭС) представлено четыре заключения о сейсмической опасности для Камчатского края (от 27.12.2012, 11.01.2013, 25.01.2013 и 04.02.2013 г.), содержащие информацию о повышенной вероятности землетрясений магнитуды  $M_{L1} \geq 6.5$  в зоне радиусом  $R \leq 300$  км от центра г. Петропавловска-Камчатского и  $M_{L1} \geq 7.0$  в зоне  $R \leq 550$  км с глубиной очагов менее 150 км в период с 27 декабря 2012 г. по 15 февраля 2013 г. включительно.

28 февраля 2013 г. в 14:05 UT в районе юга Камчатки – Северных Курил (координаты 50.93°N, 157.34°E, глубина 52 км) произошло землетрясение с  $M_w = 6.9$  (NEIC) на эпицентральной расстоянии от г. Петропавловска-Камчатского 251 км.

Указанный в заключениях прогноз оправдался в отношении эпицентральных расстояний и магнитуд возможных землетрясений.

07.03.2013 г. в КФ РЭС поступила служебная записка от В.А. Гаврилова о причинах ни продления, ни снятия прогноза от 04.02.2013 г.

Председатель КФ РЭС

11 апреля 2013 г.



В.Н. Чебров

## ВЫВОДЫ

1. Для текущих оценок сейсмической опасности в настоящее время используются следующие методы 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.

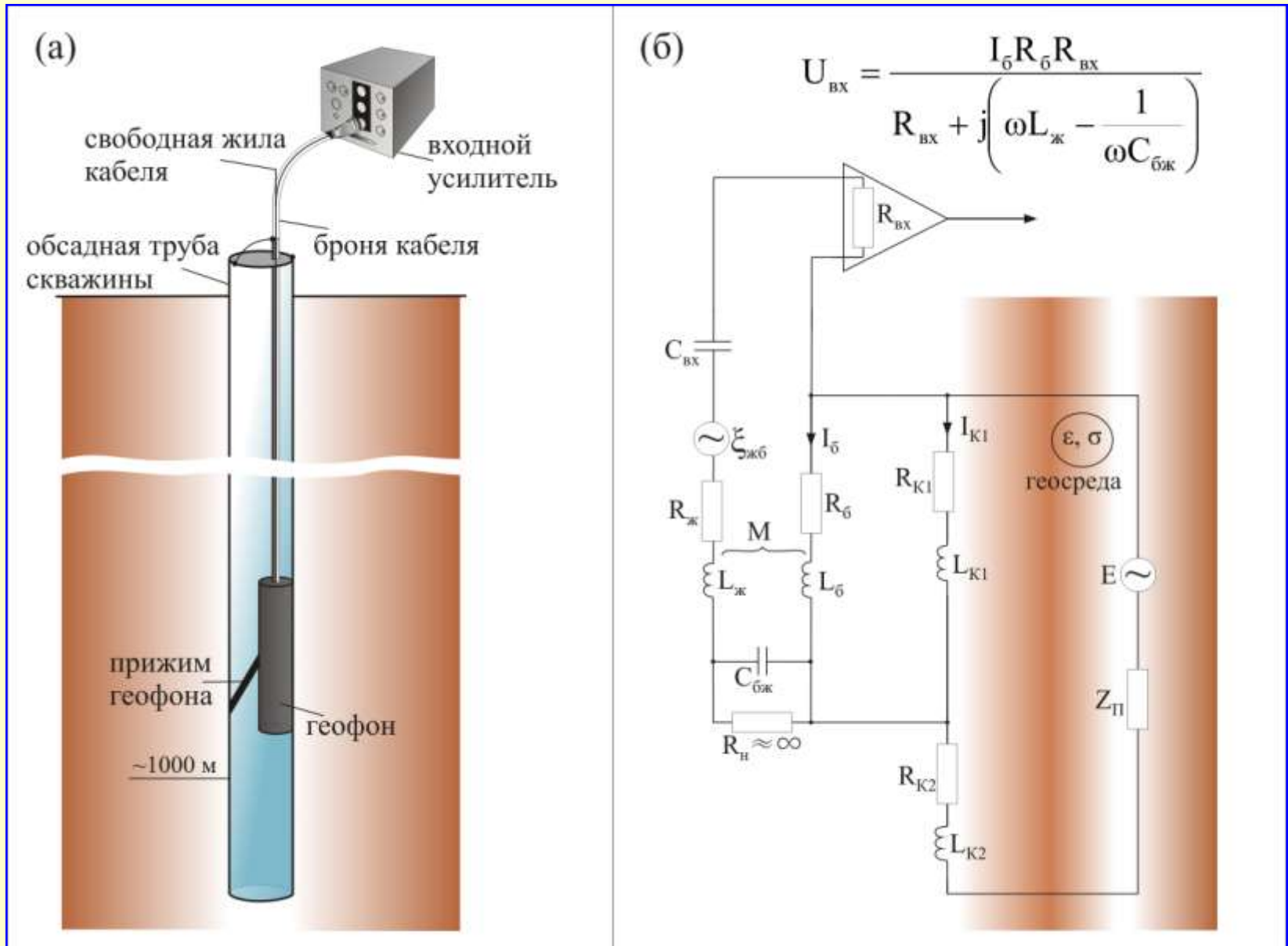
2. Полученный опыт позволяет говорить о следующих условиях, необходимых для адекватных оценок сейсмической опасности:

- понимание *физической сути* результатов, получаемых при геофизическом мониторинге напряженного состояния геосреды;

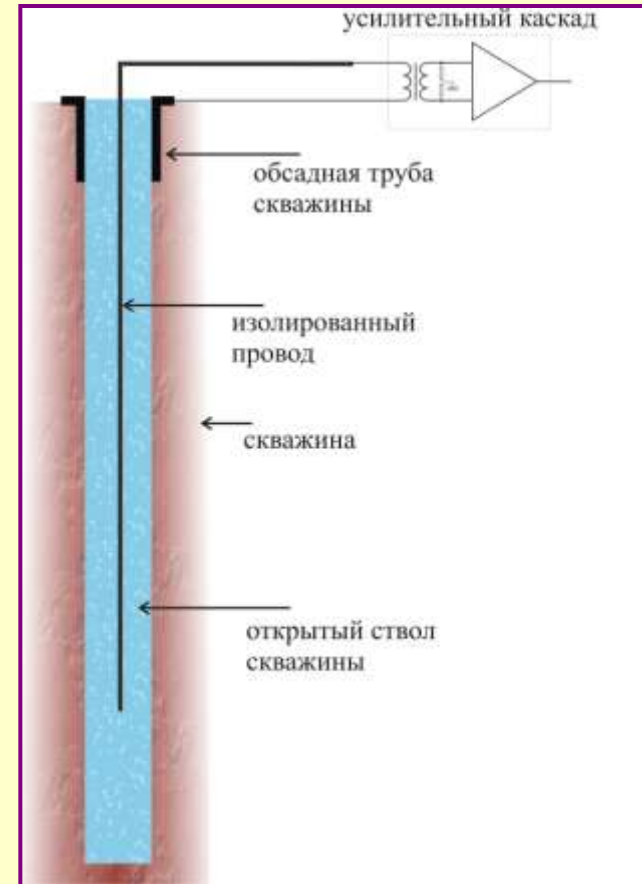
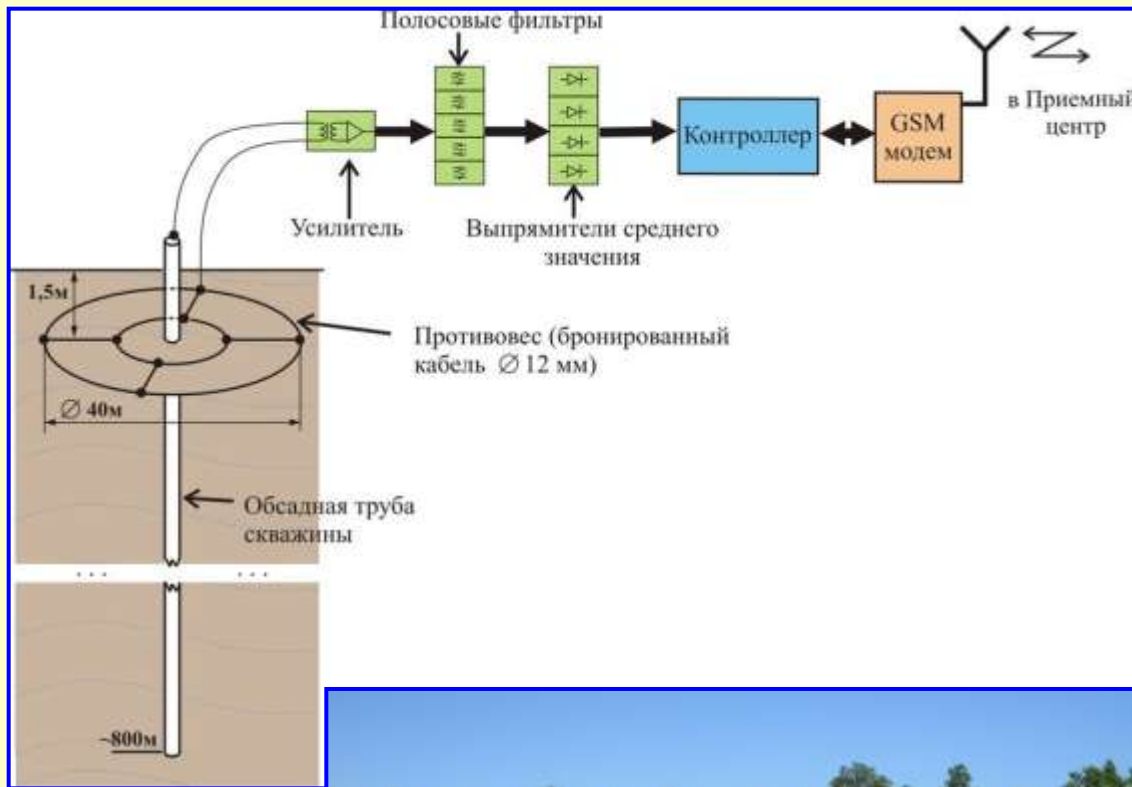
- *совместный* анализ комплекса данных по различным видам измерений с акцентом не на поиск «аномалий» и «предвестников» по отдельным видам измерений, а на определение **стадии напряженного состояния** геосреды, исходя из вариантов *сочетания* данных по независимым видам измерений.

**СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ!**

# Подземная электрическая антенна скважины Г-1



# Подземные электрические антенны на скважинах Р-2 и К-33



# Результаты мониторинга удельной электропроводности во временной окрестности Симуширских землетрясений 2006-2007 гг. [Гаврилов, 2009]

