

О вероятностном среднесрочном прогнозе сильных землетрясений Камчатки и параметризации предвестников

Г.Н. Копылова, gala@emsd.ru

г. Петропавловск-Камчатский, 1 октября 2013 г.

Содержание:

- 1. Краткий обзор состояния исследований по проблеме прогноза землетрясений.***
- 2. Пример вероятностного прогноза землетрясения 28 февраля 2013 г., $M=6.9$, Камчатка, с использованием параметрического предвестника.***
- 3. Предложения по развитию системы прогнозирования сильных землетрясений по комплексу сеймопрогностических методов.***

Крупная междисциплинарная научная проблема «прогноз землетрясений» включает:

- теоретические исследования с целью обоснования предсказуемости землетрясений (**предыдущими исследованиями обоснована принципиальная предсказуемость землетрясений!**);
- практика прогнозирования землетрясений с использованием различных предвестников (**не решена задача прогноза времени сильных землетрясений с точностью, позволяющей осуществлять превентивные мероприятия**).

Классификация предвестников:

По природе образования [Зубков, 2002; Завьялов, 2006 и др.]

- **геофизические** (сейсмические, гидрогеодинамические, деформационные, геохимические, термические, гравитационные, электромагнитные и др.);
- **биологические**.

По времени или по типу прогноза [Уломов и др., 2002]

- долгосрочные (годы – десятилетия);
- среднесрочные (месяцы – годы);
- краткосрочные (недели – сутки);
- оперативные.

По возможности практического использования

- **все предвестники вероятностные, поэтому прогноз может быть только вероятностным** [Завьялов, 2006];
- детерминированные [Добровольский, 2010].

По степени доверия к сведениям о предвестниках [И.П. Добровольский «О проблеме прогноза тектонического землетрясения», Геофизические исследования, 2010, №1.]

- **ложные** (изменения в геофизических полях с амплитудами меньше фоновых вариаций, не имеющие отношения к подготовке землетрясений; **не менее 75% от всех сообщений о предвестниках**);
- **правдивые** (находятся в соответствии с теорией подготовки тектонического землетрясения);
- **трудные для понимания** (имеется хорошая статистика, но не ясен физический механизм).

В докладе обосновывается необходимость дополнительной классификации предвестников по возможности (перспективе) их практического использования Специализированными советами по прогнозу землетрясений для обеспечения вероятностной оценки времени сильного землетрясения.

Предлагается разделять все предвестники, используемые для прогноза, на:

- **параметрические предвестники** (имеющие параметрическое описание их связи с последующими землетрясениями);
- **непараметрические предвестники** (не имеющие параметрического описания или при их неполном параметрическом описании).

Основные характеристики параметрического предвестника:

- **вероятность связи предвестника и землетрясений, $P=m/n$** , где m – число землетрясений с $M \geq M_{\text{пороговое}}$ из некоторой определенной области, перед которыми предвестник проявлялся; n – общее число таких землетрясений;
- **вероятность «пропуска цели» $P_{\text{п.ц.}}=(n-m)/n$** ;
- **вероятность успешного прогноза, $p_{\text{у.п.}}=k_{\text{п.з.}}/k$** , где k – общее число проявлений предвестника, $k_{\text{п.з.}}$ - число проявлений предвестника, сопровождавшихся землетрясениями;
- **вероятность «ложной тревоги», $p_{\text{л.т.}}=(k-k_{\text{п.з.}})/k$** ;
- **сейсмопрогностическая эффективность предвестника**, показывающая, во сколько раз использование данного предвестника может улучшить прогноз, по сравнению со случайным угадыванием, J [Гусев, 1974] .

Скв. Е-1

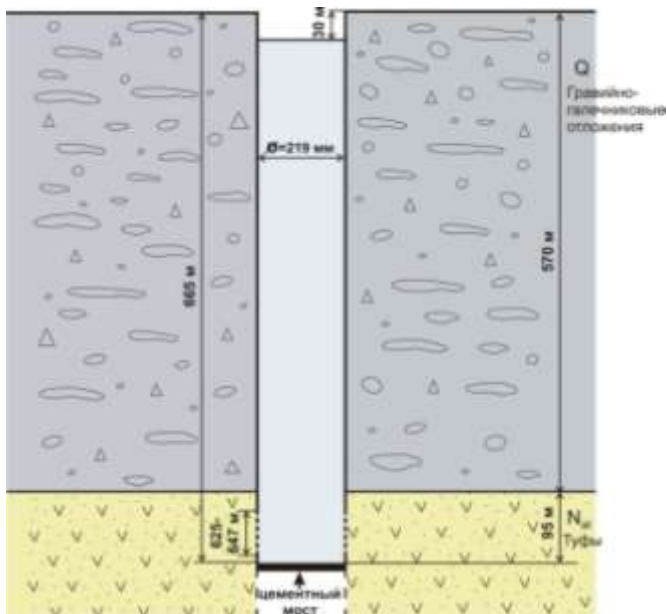


Схема гидрогеодинамического предвестника

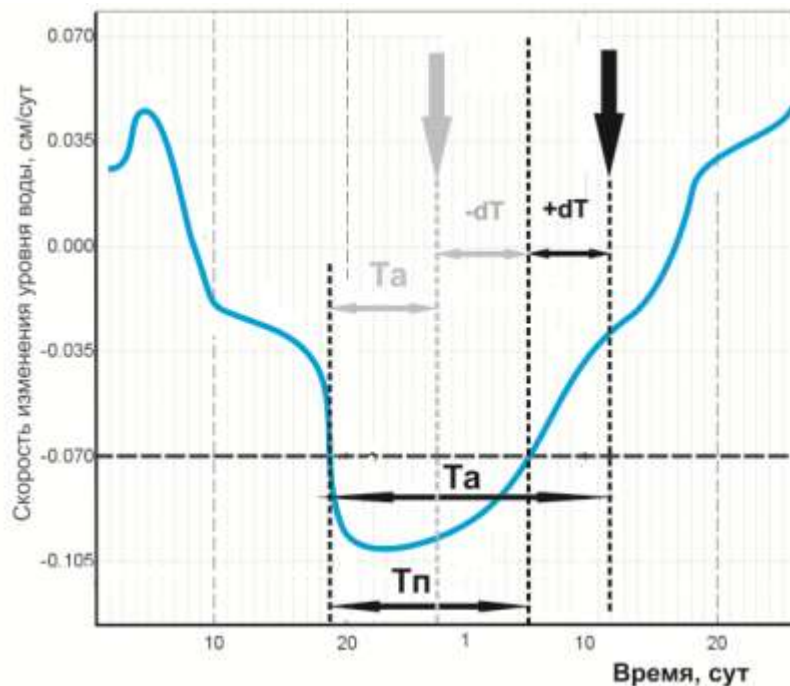
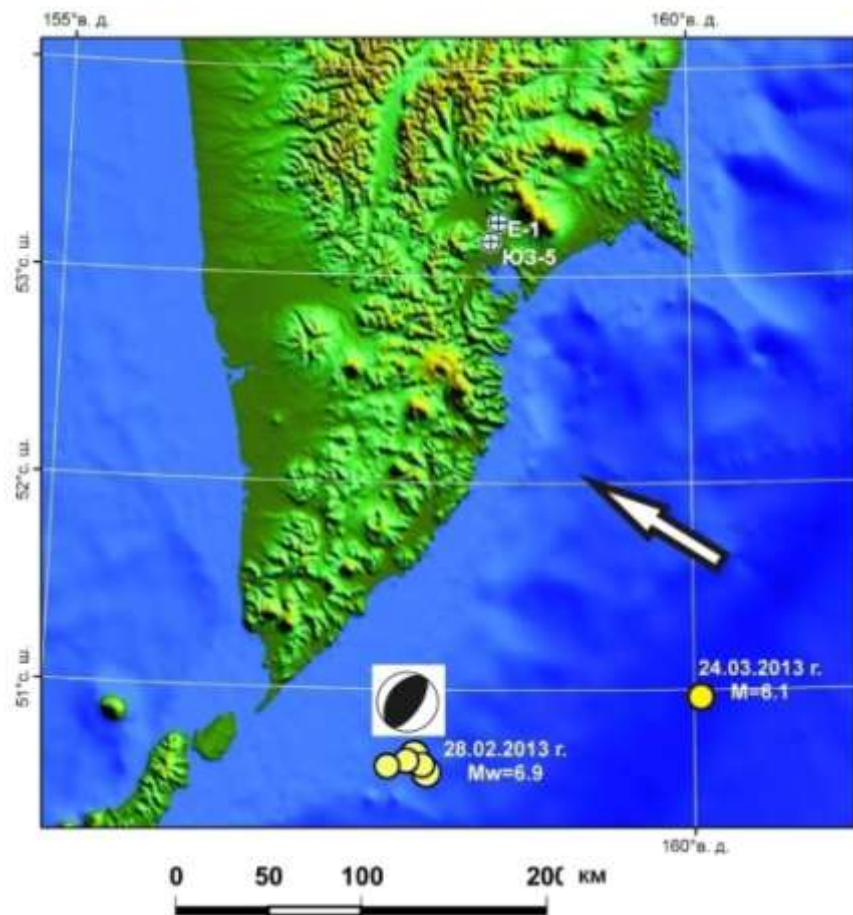


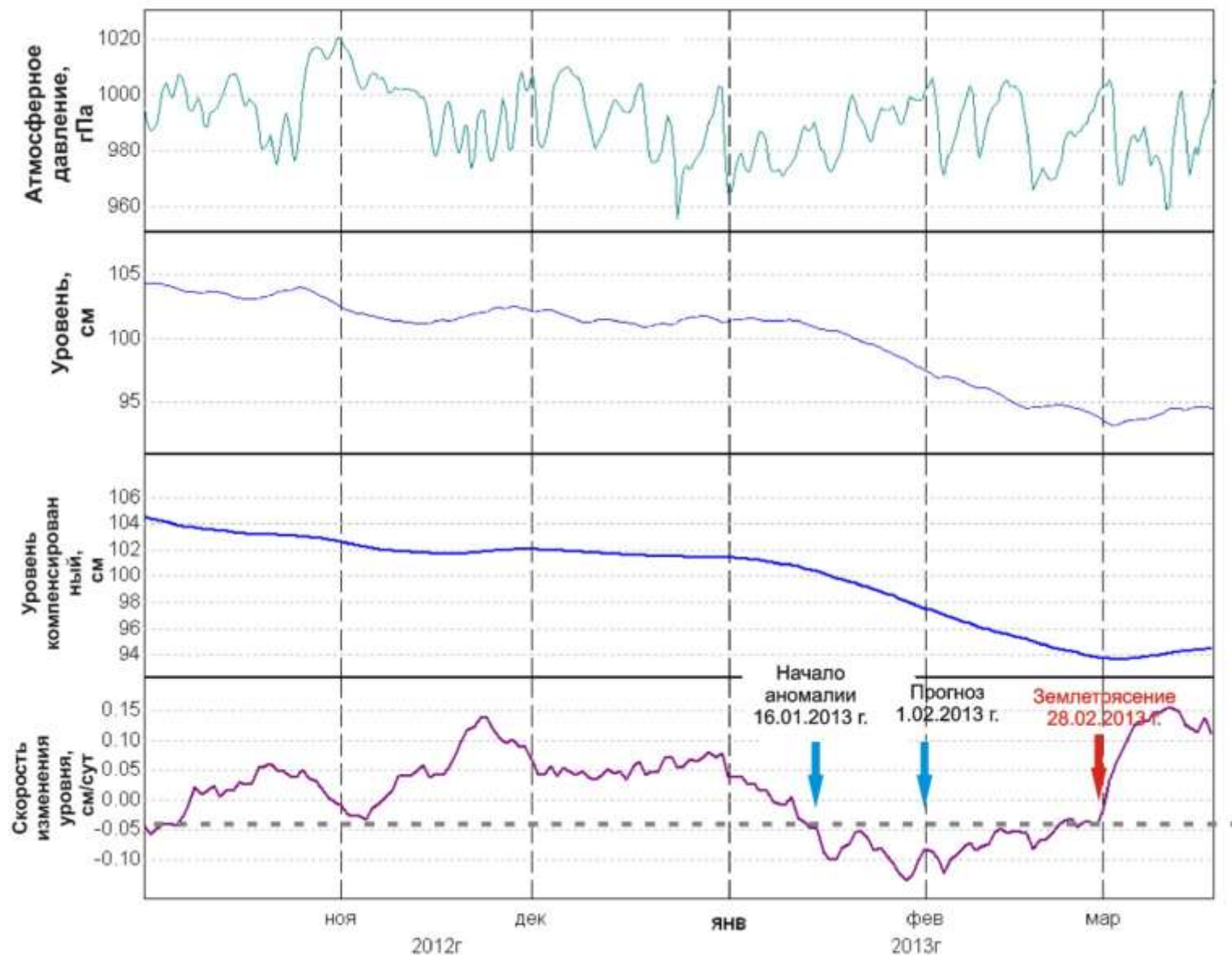
Схема расположения наблюдательных скважин КФ ГС РАН и эпицентров сильных землетрясений, февраль – март 2013 г.



T_p – продолжительность предвестника
 T_a – заблаговременность предвестника
 dT – время от окончания предвестника до момента землетрясения
 Вертикальные стрелки – возможные моменты землетрясений

Скважина Е-1: данные уровнемерных наблюдений с 1 октября 2012 г. по 18 марта 2013 г.

Предвестник и постсейсмическое повышение уровня



Директору КФ ГС РАН,
Председателю КФ РЭС
Чеброву В.Н.

от зав. лабораторией геофизических исследований
Копыловой Г.Н.

Служебная записка

1. Довожу до Вашего сведения информацию по изменениям уровня воды в скважине Е-1:
- с 16 по 31 января 2013 г. наблюдается понижение уровня воды с повышенной скоростью; продолжительность развития «тревожного признака» составляет $T_p=15$ суток.

Заключение: в течение времени 1-2 месяца повышена вероятность возникновения землетрясения с $M \geq 5.0$ на расстоянии до 350 км от скважины.

Оценки надежности прогноза по ретроспективным данным:

- вероятность события с $M \geq 5.0$ $p=0.45$, прогнозная эффективность предвестника $I=1.4$;
- вероятность события с $M \geq 5.9$ $p=0.73$, прогнозная эффективность предвестника $I=2.2$.

2. По данным наблюдений на скв. ЮЗ-5 аномальные изменения уровня воды не обнаружены.

1.02.2013 г.



Копылова Г.Н.

Параметры землетрясений с $M \geq 5.0$, произошедших в течение февраля-марта 2013 г. в радиусе до 350 км от скважины:

Дата - 28.02 – 24.03.2013 г.:

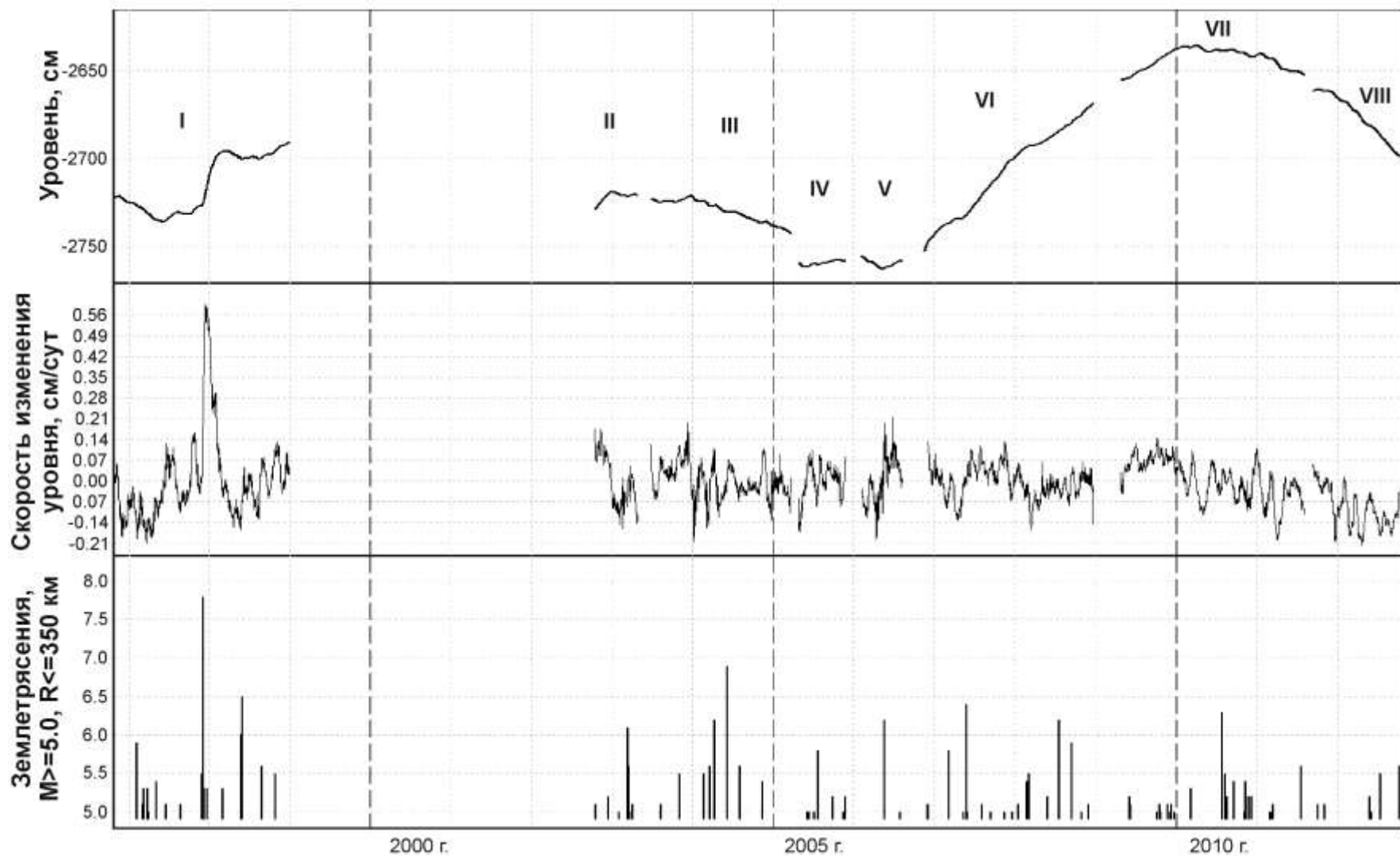
$M_{w, \max} = 6.9$ (28.02)

R (расстояние до скважины) – 280-310 км

Прогноз – оправдавшийся.

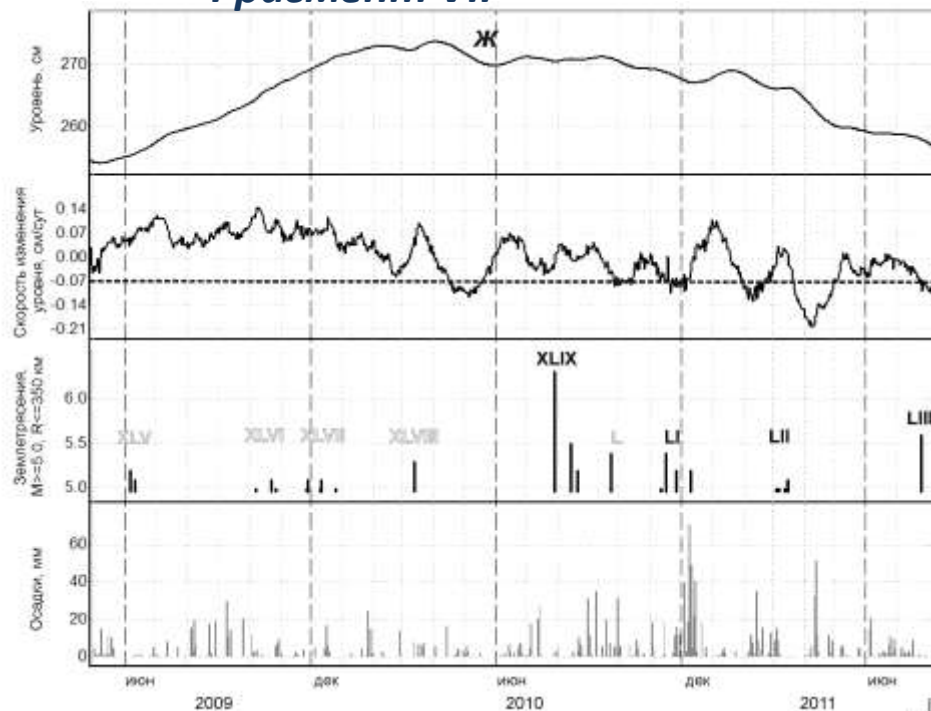
Предвестник - параметрический.

**Данные наблюдений на скважине Е-1, 1996-2012 гг.,
используемые для параметризации предвестника**

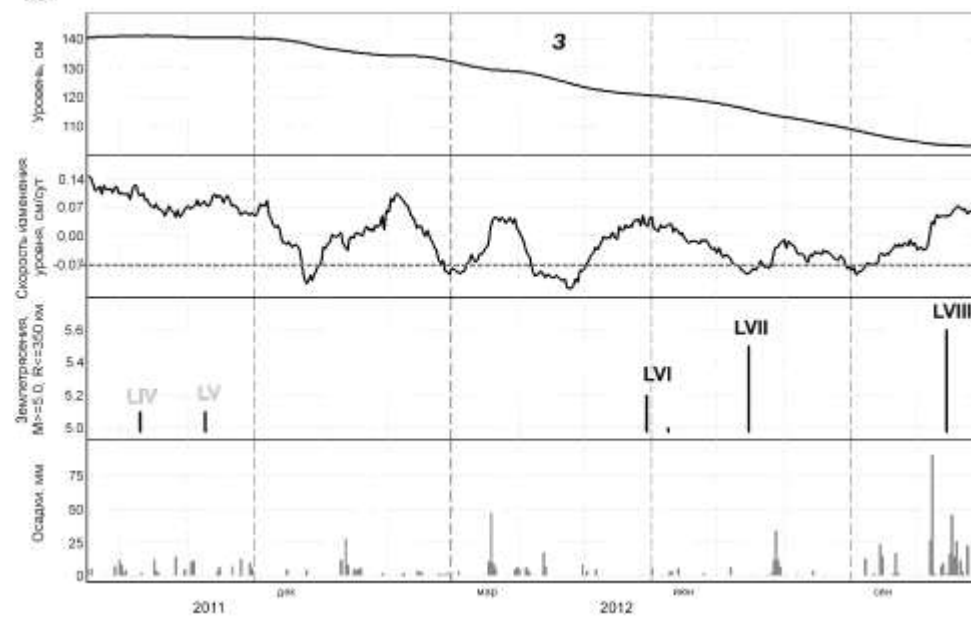


Примеры обработки данных: фрагменты VII и VIII

Фрагмент VII



Фрагмент VIII



Результаты оценки сеймопрогностической информативности предвестника в изменениях уровня воды в скважине Е-1 по данным наблюдений 1996 – 31 октября 2012 гг.

Номер фрагмента	<i>n</i> , шт.	<i>m</i> , шт.	$\tau = \sum Ta'$, сут	<i>t</i> , сут	<i>P</i> = <i>m</i> / <i>n</i>	τ/t	<i>J</i> = <i>P</i> /(τ/t)
I	10	7	285	800	0.70	0.36	2.0
II	5	2	83	196	0.40	0.42	0.94
III	8	4	174	636	0.50	0.27	1.8
IV	5	3	71	215	0.60	0.33	1.8
V	2	1	98	186	0.50	0.53	0.95
VI	14	2	117	765	0.14	0.15	0.93
VII	9	4	311	835	0.44	0.37	1.2
VIII	5	3	177	409	0.60	0.43	1.4
Всего землетрясений с							
<i>M</i> = 5.0 – 7.8	58	26	1316	4042	0.45	0.33	1.4
<i>M</i> = 5.5 – 7.8	23	14			0.61		1.9
<i>M</i> = 5.9 – 7.8	11	8			0.73		2.2

Примечание: *n* – общее число землетрясений с *M* ≥ 5.0 на расстояниях до скважины *R* ≤ 360 км; *m* – число землетрясений, перед которыми был выявлен предвестник в изменениях уровня воды; τ – суммарное «время тревоги»; *t* – общее время наблюдений; *P* – вероятность связи предвестника и сейсмических событий; *J* – сеймопрогностическая эффективность предвестника.

Оценка сейсмопрогностической информативности и параметризация предвестника

Источник сейсмопрогностической информации	Данные уровнемерных наблюдений на скв. Е-1 (56.26 °с.ш., 158.48 °в.д.), содержащиеся в БД геофизических наблюдений КФ ГС РАН и результаты их обработки
Район мониторинга очагов землетрясений	Область в радиусе до 360 км от скважины
Изучаемый параметр	Суточная скорость изменения уровня воды, очищенная от влияния баровариаций и долговременного тренда
Сейсмопрогностический признак (предвестник)	Увеличение суточной скорости понижения уровня воды до ≤ -0.05 - -0.07 см/сут в течение не менее 5-ти суток
Анализируемый период времени	1996 – октябрь 2012 г., время наблюдений $T=4042$ сут (10.4 лет)
Результаты ретроспективного анализа предвестника для землетрясений с $M \geq 5.0$	
Число землетрясений, n	58
Наличие предвестника перед з-ниями, m	26
Суммарное «время тревоги», $\Sigma\tau$	1316 сут
Отношение $\Sigma\tau/T$	$1316 \text{ сут}/4042 \text{ сут} = 0.33$
Вероятность связи предвестника и землетрясений $P = m/n$	$P=26/58 = 0.45$, вероятность «пропуска цели» $P_{п.ц.} = 0.55$
Эффективность использования предвестника для прогноза $J = P/(\Sigma\tau/T)$	$J=0.45/0.33 = 1.4$
Эпицентрально-расстояние з-ний, R	100–360 км
Длительность предвестника, T_p	8–70 сут
Время от начала предвестника до з-ния, T_a	10–122 сут
Время от окончания предвестника до з, dT	82 – -56 сут
Всего случаев проявления предвестника	32 случая
Число соответствий «предвестник» → з	26 случаев, вероятность успешного прогноза землетрясения при проявлении предвестника $p_{у.п.} = 26/32 = 0.81$
Число случаев, когда после проявления предвестника не было землетрясений («ложные тревоги»)	6 случаев, вероятность «ложной тревоги», $p_{л.т.} = 6/32 = 0.19$

Результаты ретроспективного анализа предвестника для землетрясений с $M \geq 5.9$	
Число землетрясений , n	11
Наличие предвестника перед $3, t$	8
Вероятность связи предвестника и землетрясений $P = n/t$	$P = 8/11 = 0.73$, вероятность «пропуска цели» $P_{п.ц} = 0.27$
Эффективность использования предвестника для прогноза $J = P/(\sum \tau/T)$	$J = 0.73/0.33 = 2.2$
Результаты практического применения предвестника	Предоставление заключений в КФ РЭС с периодичностью один раз в неделю или при обнаружении предвестника в течение 2002–2012 гг.
Оценка эффективности поданных в КФ РЭС прогнозов по [Чебров и др., 2011]	1.1 (для 2003–2008 гг.)

В таких таблицах содержится необходимая информация о предвестнике, которая может использоваться экспертами Специализированных советов при составлении вероятностных прогнозов сильных землетрясений.

3. О перспективах развития прогноза землетрясений по комплексу предвестников

На Камчатке обеспечение сейсмического прогноза по комплексу данных осуществляется Камчатским филиалом Российского экспертного совета по прогнозу землетрясений, оценке сейсмической опасности и риска (КФ РЭС):

Чебров В.Н. – председатель КФ РЭС, директор Камчатского филиала Геофизической службы РАН

Гордеев Е.И. – зам председателя, академик РАН, директор ИВИС ДВО РАН

Гусев А.А. – зам. председателя, д. ф.-м. н., ИВИС ДВО РАН

Салтыков В.А. – ученый секретарь, к. ф.-м.н., КФ ГС РАН

Члены КФ РЭС:

Дружин Г.И., ИКИР ДВО РАН

Селиверстов Н.И., ИВИС ДВО РАН

Смолина Н.Н., ФГУГП «Камчатгеология»

Федотов С.А., академик РАН, ИВИС ДВО РАН

Рябинин Г.В., КФ ГС РАН

Шевцов Б.М., ИКИР ДВО РАН

Широков В.А., КФ ГС РАН

Начальник управления гражданской защиты ГУ МЧС РФ по Камчатскому краю

Начальник станции цунами Камчатского УГМС

Начальник Центра мониторинга и прогнозирования ЧС в Камчатском крае

Источник данных о современном состоянии работ по прогнозированию землетрясений на Камчатке по комплексу предвестников по состоянию на 2010 г.

**В.Н. Чебров
В.А. Салтыков
Ю.К. Серафимова**

**ПРОГНОЗИРОВАНИЕ
ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ
НА КАМЧАТКЕ**



ЧЕБРОВ Виктор Николаевич

Председатель Камчатского филиала
Российского экспертного совета по
прогнозу землетрясений, оценке сейсми-
ческой опасности и риска, директор
Камчатского филиала Геофизической
службы РАН, кандидат технических наук.



САЛТЫКОВ Вадим Александрович

Ученый секретарь Камчатского филиала
Российского экспертного совета по
прогнозу землетрясений, оценке сейсми-
ческой опасности и риска, заведующий
лабораторией сейсмического мониторин-
га Камчатского филиала Геофизической
службы РАН, кандидат физико-матема-
тических наук, доцент.



СЕРАФИМОВА Юлия Константиновна

Секретарь Камчатского филиала Рос-
сийского экспертного совета по прогнозу
землетрясений, оценке сейсмической
опасности и риска, старший научный
сотрудник лаборатории геофизических
исследований Камчатского филиала
Геофизической службы РАН.



[Чебров и др., 2011]

Сообщение № 242 (680)

Камчатского филиала Российского экспертного совета по прогнозу землетрясений, оценке сейсмической опасности и риска (КФ РЭС) о сейсмической и вулканической опасности в Камчатском крае по состоянию на 06 августа 2010 г.

[illegible]

За неделю:

30 июля 2010 г. в 03:56 (UTC) в Алявском заливе произошло землетрясение с $M_w=6.2$ (NEIC), опущившееся в г. Петропавловск-Камчатский на средних глубинах интенсивностью 4-5 баллов. Землетрясение сопровождалось афтершоковой последовательностью с максимальным по magnitude землетрясением с $M_w=5.4$, опущившимся в краевом центре интенсивностью 2-3 балла.

Уровень сейсмичности Каменского участка зоны субдукции – высокий по шкале ССУС'09 (<http://www.emsl.ru/img/iss.pdf>)

уровень сейсмичности Камчатского участка зоны субдукции – фоновый (средний) по шкале СОУС'09

Рассмотрены комплекс данных сейсмологических, гидрогеологических, мониторинг подпочвенных газов, ГДИ-мониторинг, космическое зондирование, GPS-наблюдения, заключение группы КВВРТ.

В г. Петропавловск-Камчатский и г. Елизово землетрясения с силой сотрясений 7 и более баллов по 12-балльной шкале AGS не ожидаются.

Среднесрочная оценка сейсмической опасности до 01 января 2011 года.

Районы Камчатского залива, Камчатского пролива (включая район о. Беринга) и Кроноцкого полуострова. По комплексу сейсмологических данных вероятность сильного ($M \geq 7.0$) землетрясения превышает многолетнее среднее значение в 3-5 раз.

Район юга Камчатки в Алячического залива. По комплексу сейсмологических данных вероятность возникновения землетрясений с $M \geq 7.0$ превышает многолетнее среднее значение в 7-9 раз.

Оценка вулканической опасности на ближайшую неделю

Вулкан Шиведут. Активность вулкана продолжается. В любое время возможна эксплозивная деятельность вулкана с подъемом пепла на высоту более 10 км над уровнем моря. В ближайших населенных пунктах возможны пеплопады. Аэропорты и пепловые шлейфы могут представлять опасность для полетов по межконтинентальным и местным авиационным

Пулкан, Какочевской. Эксплозивно-эффузивное извержение вулкана продолжается. В любое время возможны пепловые выбросы на высоту более 7 км над уровнем моря. Аэрозольные и пепловые шлейфы могут представлять опасность для полетов по международным и местным авиалиниям.

Вулканы Карымский. Эксплозивное извержение вулкана продолжается. Существует опасность пепловых выбросов на высоту более 6 км над уровнем моря. Аэрозольные и пепловые шлейфы могут представлять опасность для полетов по местным широтам.

Вудан Бенаминион: Активность вулкана продолжается. Аэрозольные шлейфы могут представлять опасность для полетов по местным направлениям.

Вулкан Горелый. Активность вулкана остается высокой. Аэрозольные шлейфы вулкана могут представлять опасность для полетов по местным авиационным

Источники: данные наблюдений и заключений КФ ГС РАИ, ИИИС ДПО РАИ, ВФС РАИ, НКРП ДПО РАИ, ФТИ РАИ, группы КВЕР.

06 августа 2010 г.

г. Петропавловск-Камчатский

B.H. Gellera

Временной ряд $\alpha(t,i) = \beta(t,i)/\gamma(t,i)$,

где β - число методов, по которым выделялись предвестники на время i -ого заседания КФ РЭС;

γ - общее число сейсмопрогностических методов, по которым на время i -ого заседания КФ РЭС имелаась информация;

t – время i -ого заседания КФ РЭС в сутках от 1-ого его заседания.

В результате ретроспективного анализа временного ряда $\alpha(t_i)$ в сопоставлении с произошедшими землетрясениями будут определены:

- пороговое значение магнитуды землетрясений $M_{\text{пор}}$ и пространственно-временные закономерности распределения землетрясений с $M \geq M_{\text{пор}}$, сопровождающихся предшествующими повышениями значений $\alpha(t_i)$;

- оценки времени (заблаговременности) проявления повышенных значений $\alpha(t_i)$ перед землетрясениями с $M \geq M_{\text{пор}}$;

- формулируется вывод о наличии либо об отсутствии связи ряда $\alpha(t_i)$ и сильных землетрясений Камчатки.

Если такая связь будет выявлена, то необходимо дать ее параметрическое описание.

Дальнейшее развитие предлагаемого направления в повышении информативности комплекса предвестников для прогноза времени сильных землетрясений будет определяться:

- результатами параметризации отдельных сейсмопрогностических методов и предвестников;

- обоснованием введения для них весовых коэффициентов при построении временного ряда $\alpha(t_i)$.

Измерительный комплекс Кедр ДМ с телеметрической передачей данных (ООО Полином, г. Хабаровск):

- 1 – регистратор БСИ 300 со встроенными датчиками температуры воздуха, атмосферного давления, GPRS-модемом и GSM-антенной;**
- 2 – датчик уровня воды (ультразвуковой);**
- 3 – глубинный зонд с датчиками температуры и электропроводимости воды ;**
- 4 – блок управления-индикации;**
- 5 – модуль энергонезависимой памяти Н 20;**
- 6 – блок считывания данных БСН-200;**
- 7 – программное обеспечение;**
- 8- источник питания;**
- 9 - комплект соединительных кабелей**



Интервал регистрации параметров – 5 минут

Передача данных – 1 раз в час.

Обработка данных производится ежедневно.

Данные наблюдений представляются по адресу:

<http://www.emsd.ru/lqi/observations>

Технические характеристики комплекса Кедр-ДМ

[Кедр-ДМ: комплекс для мониторинга..., 2007]

Регистратор БСИ 300	
Диапазон установки интервала измерений	5 - 60 минут
Разрешающая способность датчика давления	0.1 гПа (0.1 см вод. ст.)
Разрешающая способность датчика температуры воздуха	0.1° С
Напряжение питания (постоянный ток)	8-15 В
Датчик уровня	
Разрешающая способность датчика уровня	0.01 см (0.1 см)
Основная погрешность измерения уровня	0.5 %
Глубинный зонд	
Разрешающая способность датчика температуры воды	0.01° С
Погрешность измерения температуры воды в диапазоне 0-100° С	0.5 %
Разрешающая способность датчика электропроводимости воды	1 мСм/м
Диапазон измерения электропроводимости	2-2000 мСм/м

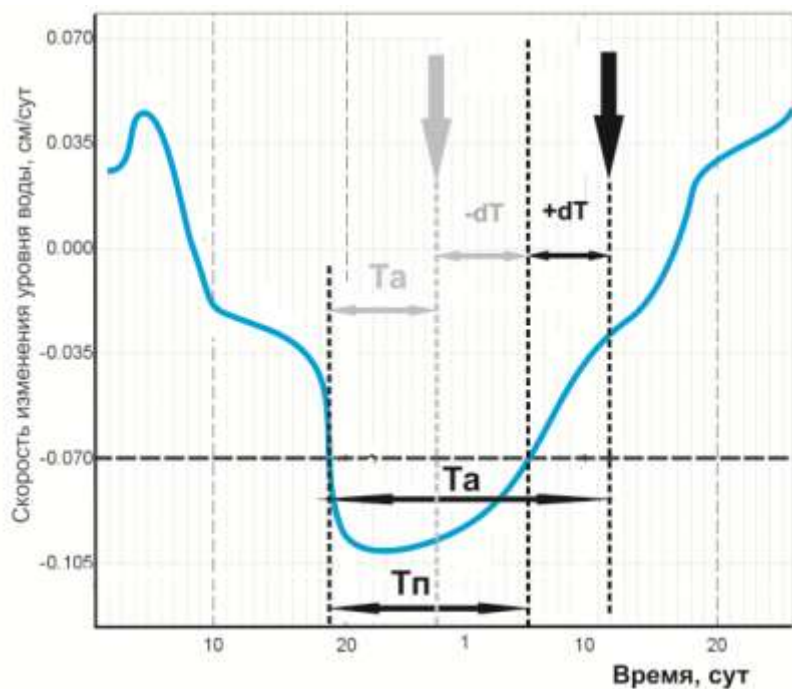
Пополнение базы данных уровнемерных наблюдений, их обработка и визуализация производятся ежедневно с использованием автоматизированной информационной системы ИС POLYGON и входящей в нее программы DIAGNOS [Копылова, Латыпов, Пантюхин, 2003].

Данные наблюдений представляются на сайте КФ ГС РАН (страница лаборатории геофизических исследований): <http://www.emsd.ru/lqi/observations>

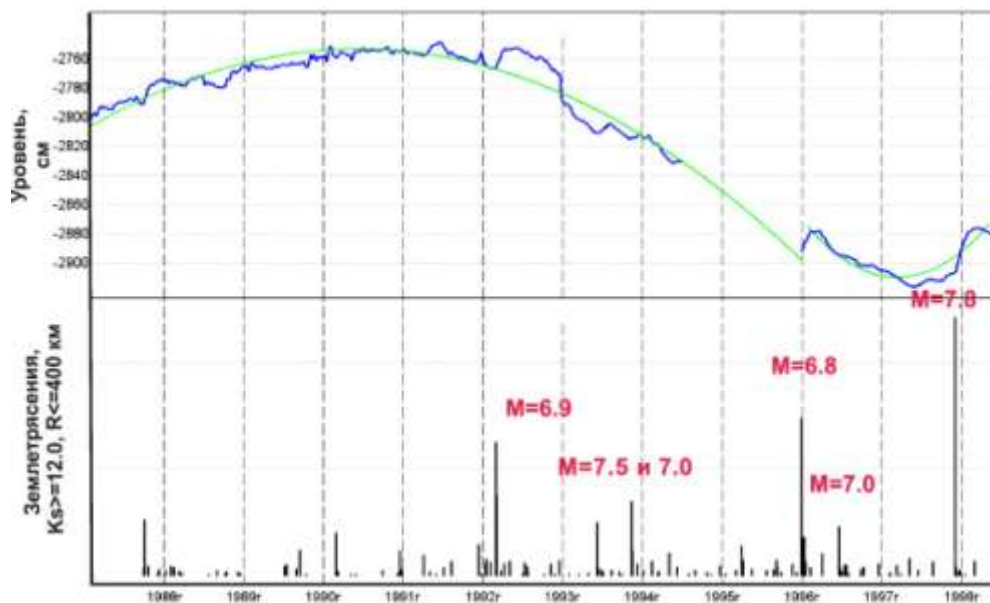
О проявлении двух типов сигналов в изменениях уровня воды в скважине Е-1, связанных с подготовкой сильных землетрясений

Тип 1 – понижения уровня воды с повышенной скоростью перед землетрясениями с $M \geq 5.0$ на расстояниях до 350 км в течение суток – десятков суток [Копылова, 2008 и др.].

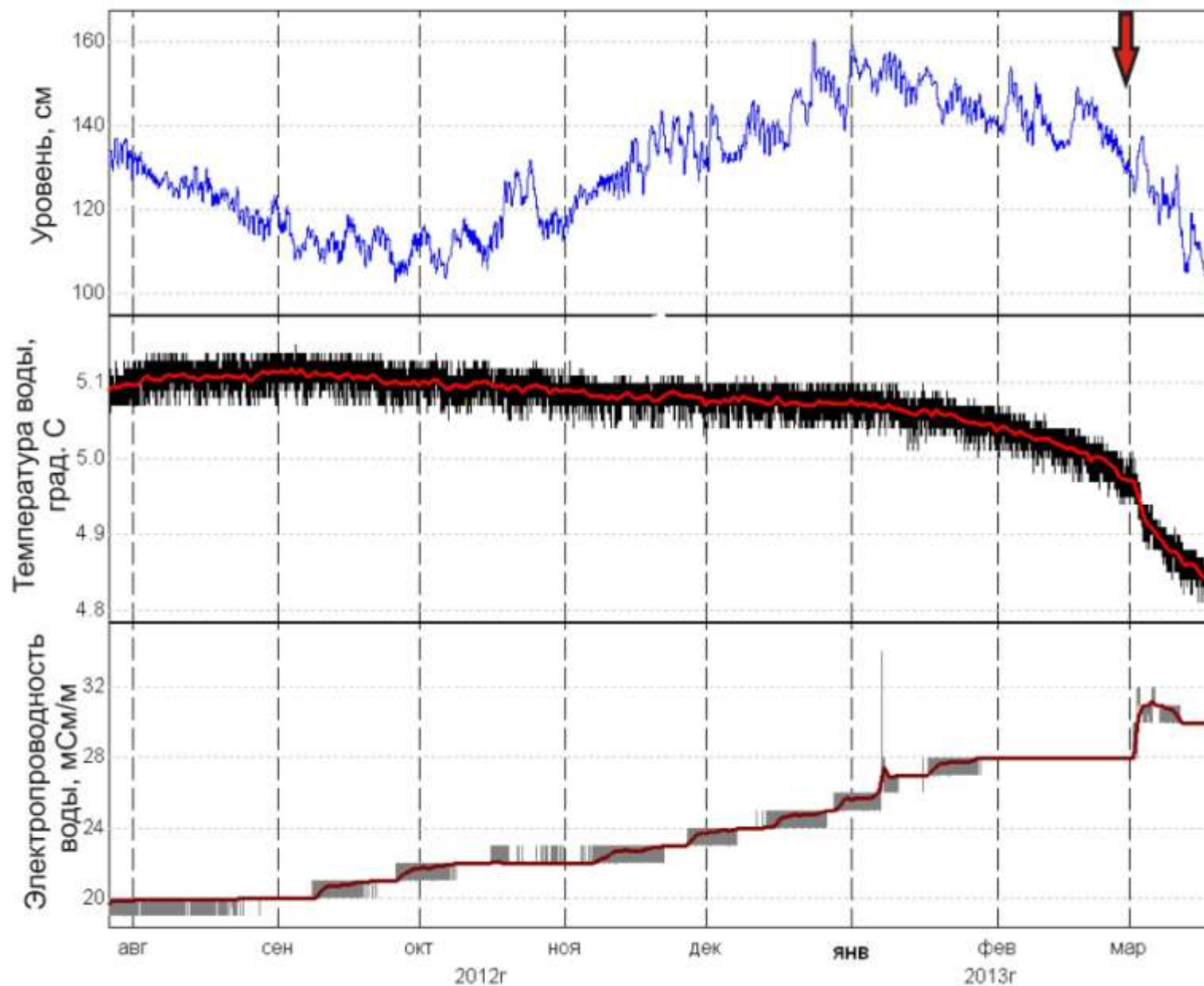
Проявляется перед 73% землетрясений с $M \geq 5.9$ [Копылова, Сизова, 2012]



Тип 2 – развитие тренда понижения уровня воды в течение времени до 6-ти лет, предшествующее и сопутствующее возникновению на Камчатке серии сильных землетрясений с M порядка 7 и более в 1992-1997 гг. [Копылова, 2001]



**Изменение температуры и электропроводности воды:
скв. ЮЗ-5, глубина 97 м ниже оголовка (27 июля 2012 г. – 17 марта 2013 г.)**



**Изменение температуры и электропроводности воды:
скв. Е-1, глубина 20 м ниже уровня воды (1 января – 17 марта 2013 г.)**

