

УДК 550.34

КАМЧАТСКОЕ ОТДЕЛЕНИЕ ФЕДЕРАЛЬНОГО ЦЕНТРА ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ: ОПЫТ РАБОТЫ И РЕЗУЛЬТАТЫ

Е. И. Гордеев, В. А. Салтыков, Ю. К. Серафимова

*Камчатская Опытно-методическая сейсмологическая партия Геофизической службы РАН,
683006, г.Петропавловск-Камчатский, бул. Пийна, 9, e-mail: salt@emsd.ru*

Аннотация. Статья посвящена деятельности Камчатского отделения Федерального центра прогнозирования землетрясений (КамО ФЦПЗ) в течение шести лет. Кратко представлена структура КамО ФЦПЗ, его задачи и функции. Дана информация о видах наблюдений, на основании которых формируются прогнозы сильных землетрясений. Рассмотрены прогнозы и предвестники камчатских землетрясений с $M \geq 6.0$ в 1998-2004 гг. Даются значения эффективности J прогноза по отдельным методам.

КАМЧАТКАН EQ PREDICTION CENTER: EXPERIENCE AND RESULTS

Ye. I. Gordeev, V. A. Saltykov, Yu. K. Serafimova

*Kamchatkan Experimental and Methodical Seismological department, Geophysical Service, RAS,
683006, Petropavlovsk-Kamchatsky, Piip blvd., 9, e-mail: salt@emsd.ru*

Abstract. Kamchatkan Branch of Federal Center of Earthquake Prediction was established in 1998 as subdivision of Geophysical Service of Russian Academy of Sciences. Analysis of strong earthquake precursors is one of its main functions. Precursors detected by various kinds of observations and by different methods are shown. Among them there are seismological, seismoacoustic, hydrodynamic, hydro- and geochemical, electro-magnetic precursors. Total amount of used methods is more than 15. Performance evaluations are given for some precursors.

The presented data about precursors were received by Kamchatkan Seismological Department of Geophysical Service, Institute of Volcanic Geology and Geochemistry, Institute of Cosmophysical Research and Radio Wave Propagation, Kamchatkan State Pedagogical University, Institute of Physics of the Earth, and "Kamchatnedra".

Камчатское отделение Федерального центра прогнозирования землетрясений (КамО ФЦПЗ) было учреждено в 1998 г. как подразделение Геофизической Службы РАН в рамках целевой программы «Развитие Федеральной системы сейсмологических наблюдений и прогноза землетрясений на 1995-2000 гг.». Предлагаемая работа представляет собой обзор деятельности КамО ФЦПЗ за шесть лет его существования с мая 1998 г. по апрель 2004 г. включительно.

Основная функция КамО ФЦПЗ – оперативная оценка сейсмической опасности, прогноз землетрясений и извержений вулканов, возможных последствий их воздействий. В работе КамО ФЦПЗ принимают активное участие шесть (до объединения Института вулканологии ДВО РАН и Института вулканической геологии и геохимии

ДВО РАН - семь) научно-исследовательских организаций, занимающихся исследованиями сейсмичности и/или предвестников землетрясений.

- Камчатская опытно-методическая сейсмологическая партия Геофизической службы РАН (КОМСП ГС РАН),

- Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН (до мая 2004 г. - Институт вулканологии ДВО РАН и Институт вулканической геологии и геохимии ДВО РАН),

- Институт космофизических исследований и распространения радиоволн ДВО РАН,

- Институт Физики Земли РАН,

- Камчатский государственный педагогический университет,

- «Камчатнедра» ГПП «Камчатгеология».

В обычном режиме заседания КамО ФЦПЗ проводятся еженедельно. Под обычным режимом подразумевается отсутствие сильных землетрясений с магнитудой M более 6 или сильных вулканических извержений. В противном случае заседания проводятся чаще, с учетом поступления новой оперативной информации о развитии сейсмического или вулканического процесса. По итогам заседаний составляются заключения КамО ФЦПЗ, которые передаются

- в администрацию Камчатской области

- в городскую администрацию

- в Агентство по мониторингу и прогнозированию чрезвычайных ситуаций МЧС России

- в Геофизическую службу РАН

- в ФЦПЗ

- в Российский экспертный совет (РЭС)

- в СМИ Камчатской области (сокращенный вариант).

При оценке вулканической обстановки рассматриваются заключения Камчатской группы реагирования на вулканические извержения, или KVERT – (Kamchatkan Volcanic Eruption Response Team, <http://www.kcs.iks.ru/ivgig/kvert/index.html#>), а также материалы о сейсмической активности вулканов, полученные в КОМСП.

При оценке сейсмической опасности рассматриваются данные наблюдений за предвестниками сильных землетрясений, которые можно разделить на несколько групп в соответствии с природой используемых полей:

- сейсмологические,

- геофизические,

- геохимические.

В группу сейсмологических методов входят

- вариации крутизны спада огибающей коды слабых местных землетрясений;

- алгоритм M_b (комплексное использование большой совокупности различных сейсмологических параметров);

- обнаружение сейсмических затиший методами RTL и Z -тест;

- параметр t (вариации отношения скоростей сейсмических волн V_p/V_s), данные поля напряжений.

К геофизическим методам относятся

- скважинные гидрогеодинамические (вариации уровня воды, атмосферного давления);

- ГГД-мониторинг (вариации уровня воды в скважинах, атмосферного давления);

- параметры атмосферно-ионосферных полей;

- вариации параметров высокочастотного сейсмического шума (ВСШ);

- вариации электромагнитного излучения в полосе частот 9-17 кГц;

- вариации электротеллурического поля.

Геохимические методы представляют

- вариации химического состава воды в скважинах и источниках;

- измерение объемной активности радона ^{222}Rn и водорода в почвенном газе (анализ как в комплексе с анализом каталогов землетрясений, так и индивидуально).

По Положению о КамО ФЦПЗ возможность подать прогноз предоставляется всем желающим, поэтому рассматриваются также прогнозы и оценки, подаваемые другими

организациями и частными лицами. В частности, регулярно поступают заключения А.Я. Лездиньша, использующего астрологический подход к проблеме прогноза сейсмических и вулканических явлений.

Объем публикации и большое разнообразие используемых методов не позволяют детально рассмотреть каждый из них, поэтому приведем только краткое схематичное описание с указанием, по возможности, литературных источников.

• Вариации крутизны спада огибающей коды слабых местных землетрясений (А.А. Гусев, И.Р. Абубакиров, КОМСП ГС РАН, ИВиС ДВО РАН) [1, 25].

Информационный параметр: α . Характеризует скорость спада огибающей коды.

$$\alpha = \frac{d}{dt} [\log A(t) - \log a(t)],$$

где $a(t)$ – эталонная форма огибающей коды, $A(t)$ – текущая огибающая коды.

Предвестник: синхронное (на двух станциях) отрицательное бухтообразное поведение α .

Параметры прогноза: магнитуды $M > 7.5$, упреждение - 0.8-3 года, эпицентрального расстояние $\Delta = 50-150$ км.

• Алгоритм “М6” (комплексный анализ сейсмологических данных) (В.А. Широков, ИВиС ДВО РАН) [24].

Методика среднесрочного прогноза в реальном времени камчатских землетрясений с $M \geq 6$. Используются следующие эффекты:

Выявление зон сейсмического затишья и активизации;

Выявление аномалий в распределении землетрясений по глубине и энергии;

Циклические изменения сейсмичности (лунно-солнечный месячный период – 29.63 сут., лунный период – 8.85 и 18.613 лет, сезонные периодичности, суточная цикличность и т.д.);

Анализ роевых последовательностей;

Синхронизация сейсмичности в различных регионах мира;

Алгоритм “Мантия” (анализ каталогов землетрясений, расчет специальных параметров).

• Поиск RTL -аномалий (В.А. Салтыков, В.В.Иванов, Н.М.Кравченко, КОМСП ГС РАН).

Методика предложена группой авторов (Г.А.Соболев, Ю.С.Тюпкин, Смирнов В.Б., Завьялов А.Д. [19]), ими же получены и опубликованы результаты для различных регионов мира, в том числе и для Камчатки [16-18]. Этому методу посвящены две статьи в данном сборнике [4, 6].

• Z-тест (обнаружение зон сейсмического затишья) (Н.М.Кравченко, В.А. Салтыков, КОМСП ГС РАН) [12].

Предвестник: сейсмическое затишье - временное (в течение месяцев – нескольких лет) уменьшение сейсмической активности.

Цель: выявление пространственно-временной области с аномально низким уровнем сейсмичности. Аномалии должны быть статистически значимыми, что обеспечивается большими значениями z [26]:

$$AS(t) = z = \frac{R_1 - R_2}{\sqrt{\frac{\sigma_1^2}{n_1} + \frac{\sigma_2^2}{n_2}}},$$

где R_1 и R_2 – средние скорости сейсмического потока в двух интервалах, σ_i - стандартное отклонение и n_i – число элементарных временных отрезков. Величина уменьшения скорости сейсмического потока вычисляется для всех статистически значимых точек:

$$SRD(t) = 1 - \frac{R_2}{R_1}.$$

• Вариации скоростей сейсмических волн (мониторинг кинематического параметра τ) (Л.Б. Славина, ОИФЗ РАН).

Предвестником сильного землетрясения является резкое увеличение t , т.е. отношения скоростей P - и S -волн. Подробнее данная методика описана в отдельной статье данного сборника [15].

• Мониторинг сдвиговых напряжений по азимутальным вариациям отношения скоростей сейсмических волн (И.А. Гарагаш, ОИФЗ РАН) [2].

Среднесрочный предвестник: 1. Гантелеобразная зона положительных главных сдвиговых напряжений с двумя локальными максимумами; 2. Временная стабилизация азимута главных осей напряжений (после резкого роста главного сдвига).

• Скважинные гидрогеодинамические предвестники (вариации уровня воды в скважине Елизовская-1 (Н=665 м)) (Г.Н. Копылова, КОМСП ГС РАН) [5].

Предвестник сильного ($M \geq 6.6$) землетрясения: понижение уровня воды со скоростью не менее 13 мм за 3 недели в течение интервала от нескольких недель до нескольких месяцев.

• Гидрогеодеформационный (ГГД) мониторинг (Н.Н. Смолина, «Камчатнедра» ГПП «Камчатгеология»).

Предвестниковый процесс: гидрогеологический эффект Варганияна-Куликова (крупномасштабные быстрые вариации в гидросфере в результате вариаций напряженного состояния литосферы).

Режимные наблюдения за гидрологическими параметрами четырех скважин на Камчатке.

• Вариации высокочастотного сейсмического шума (ВСШ) (В.А. Салтыков, В.Н. Чебров, В.И. Синицын, Ю.А. Кугаенко, КОМСП ГС РАН) [10, 14].

Объект: ВСШ (амплитуда - 10^{-9} - 10^{-12} м, частота – первые десятки Гц).

Информационный параметр: фазовый сдвиг между определенной волной приливного гравитационного потенциала и соответствующей ей компонентой огибающей ВСШ.

Предвестник: стабилизация фазового сдвига на некотором уровне в течение нескольких недель.

Ожидаемое землетрясение: с магнитудой $M \geq 6.0$ на расстоянии до 250 км от пункта регистрации в течение 1-2 месяцев. Подробнее регистрация ВСШ описана в данном сборнике в статье [13].

• Вариации импульсного электромагнитного излучения (А.Н. Кролевец, В.К. Павлюков, КГПУ) [7].

Регистрация импульсного электромагнитного излучения (ЭМИ): частота несущей импульсов - 9-17 кГц, частота следования - 4-30 1/мин.

Проводится анализ компонент ЭМИ, модулированных приливными волнами O_1 , M_2 и их гармониками.

• Вариации геоэлектрического потенциала (Ю.Ф. Мороз, ИВиС ДВО РАН) [8,9].

Анализ данных мониторинга электротеллурических токов в четырех пунктах наблюдений на Петропавловском геодинамическом полигоне.

Предвестник: бухтообразные вариации.

• Вариации химического состава воды (Ю.М. Хаткевич, Г.В. Рябинин, КОМСП ГС РАН) [11, 21, 22].

Мониторинг девяти объектов: семи самоизливающихся скважин и двух термальных источников, объединенных в четыре станции.

Измеряемые параметры: расход воды, температура воды и воздуха, атмосферное давление, химический состав воды и газа.

Предвестник: уменьшение концентрации Cl перед сильными землетрясениями (после удаления тренда и низкочастотной фильтрации).

• Анализ атмосферно-ионосферных процессов (Богданов, Бузевич, Дружин, ИКИР ДВО РАН)

Используемые поля: вертикальное зондирование ионосферы, ОНЧ-излучение, вариации геомагнитного поля (ГМП), АЭП (атмосферная электропроводность)

приземного слоя, уровень космического радиозума на частоте 32 МГц, атмосферное давление.

Методы и результаты ИКИР прогностического направления представлены в данном сборнике в статье [23].

• Измерение объемной активности радона ^{222}Rn и водорода в почвенном газе (П.П.Фирстов, ИВиС ДВО РАН) [20].

Сильные землетрясения с магнитудой M более 7.0, тем более сильнейшие – с $M > 7.7$, на Камчатке в 1998-2004 гг. не происходили, поэтому в разряд ярких событий попадают землетрясения с магнитудами M_w в диапазоне 6.0 – 7.0 (Табл.1, Рис.1).

В Таблицах 2-10 представлены данные о предвестниках, которые были обнаружены в режиме реального времени (до возникновения землетрясения) или при ретроспективном анализе. Успешным прогноз здесь и далее считается только в том случае, если землетрясение произошло строго в указанных пространственно-временных и энергетических рамках. На этот аспект авторы обращают особое внимание читателя: мы считаем, что не существует частично оправдавшихся прогнозов. Прогноз может либо оправдаться, либо не оправдаться. Если же землетрясение произошло с отклонением от какого-либо из параметров (энергия, время, местоположение), то мы предлагаем в этом случае констатировать факт своевременного выявления предвестника, который, к сожалению, был проинтерпретирован авторами неправильно, то есть оценки времени или места, или энергии ожидаемого землетрясения сделаны неверно. Тем не менее, такой предвестник существует, и этот факт нельзя не учитывать. Кроме этого отдельные предвестники были обнаружены уже после землетрясения. Причины такой временной задержки могут быть различны (начиная с несвоевременно проведенного анализа, недоработки критериев выделения аномалий и т.д.), но даже если с практической стороны такие предвестники не представляют интереса, то научные аспекты их поиска сомнения не вызывают. Поэтому мы представляем в этих таблицах данные как по прогнозу землетрясений (то есть по технологическому процессу), так и по выявлению предвестников этих землетрясений (что является фундаментальной проблемой).

Таким образом, с девятью из двенадцати камчатских землетрясений с магнитудой $M \geq 6.0$ связываются аномалии в поведении различных природных процессов. Следует отметить, что оставшиеся три землетрясения (номера 4-6 в Табл.1) произошли в северо-восточной части сейсмоактивной области. К сожалению, судя по поступающим в КамО

Таблица 1. Сильные землетрясения 1998-2004 гг.

N	Дата	Время	$\varphi, ^\circ N$	$\lambda, ^\circ E$	$H, \text{ км}$	$K_S^{\Phi 68}$	M_w
1	1998/06/01	05:34	52.81	160.37	31	13.8	6.9
2	1999/03/08	12:25	51.93	159.72	7	14.3	7.0
3	1999/09/18	21:28	50.99	157.84	40	13.8	6.0
4	1999/09/28	05:00	54.40	168.52	40	13.4	6.2
5	1999/11/26	00:28	55.12	165.32	39	13.2	6.0
6	2001/08/02	23:41	56.21	164.05	25	13.8	6.3
7	2001/10/08	18:14	52.62	160.46	31	13.8	6.5
8	2002/10/16	10:12	51.66	157.68	108	13.2	6.2
9	2003/03/15	19:41	52.15	160.66	4	13.3	6.1
10	2003/06/16	22:08	55.30	160.34	190	14.7	6.9
11	2003/12/05	21:26	55.56	165.73	14	14.3	6.7
12	2004/04/14	01:54	55.11	162.82	39	13.5	6.2

Примечание. Координаты гипоцентров (широта φ , долгота λ , глубина H), энергетический класс $K_S^{\Phi 68}$ соответствуют каталогу КОМСП ГС РАН. Моментные магнитуды M_w взяты из каталога NEIC (<http://wwwneic.cr.usgs.gov/neis/epic/epic.html>).

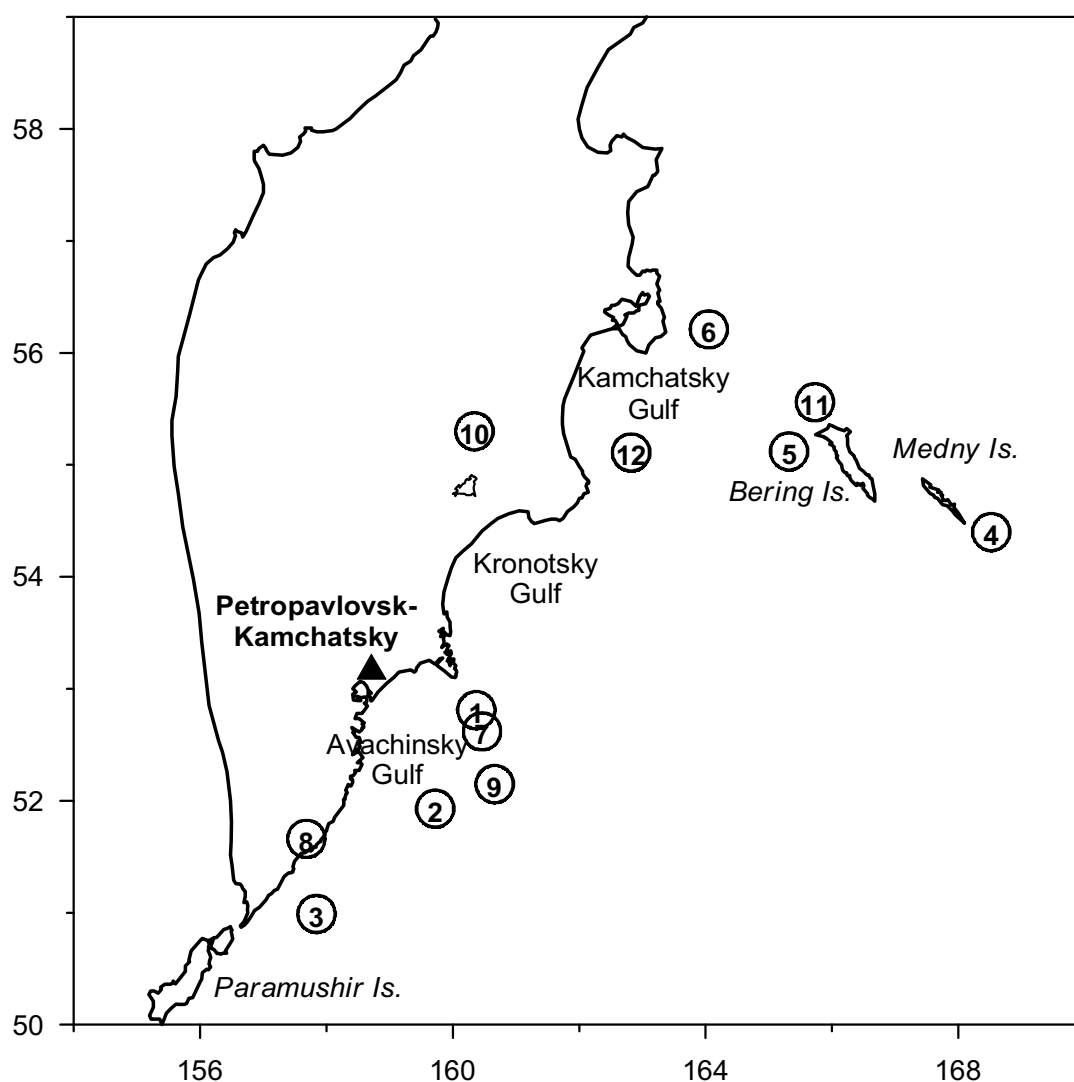


Рис. 1. Карта Камчатки с отмеченными эпицентрами сильных землетрясений 1998-2004 гг. Нумерация соответствует Табл.1.

Fig. 1. Map of Kamchatka with marked large earthquake epicenters. Number of earthquakes corresponds to Table 1.

ФЦПЗ данным в настоящее время этот район не контролируется никакими методами кроме сейсмологических. Что же касается землетрясений южной Камчатки (включая Авачинский и Кроноцкий заливы), произошедших с мая 1998 по апрель 2004, то подготовка каждого из них проявилась через аномалии в параметрах нескольких полей, причем многие из них были обнаружены в режиме реального времени. Это дает определенные основания для оптимизма относительно возможности прогноза сильных землетрясений. Разумеется, в будущем. В настоящее же время все не так уж и хорошо. Оценим эффективность прогнозов. Мы будем проводить оценку эффективности прогнозов, подаваемых по различным методикам, исключительно формально, то есть

- 1) по единой методике;
- 2) не обращая внимания на физическую обоснованность используемого подхода к прогнозированию;
- 3) считая успешными прогнозами только оправдавшиеся по трем параметрам (время-место-сила).

При таком подходе оценивается именно технология прогнозирования в конкретных камчатских условиях. За основу был взят подход оценки эффективности прогноза, использованный А.А. Гусевым [3]. Если по конкретному методу прогноз выдается для

Таблица 2. Предвестники землетрясения 01.06.1998 г. $M_w=6.9$

№	Метод	Автор, организация	Прогноз	Предвестник, выявленный в режиме реального времени	Предвестник, выявленный ретроспективно
1	Гидрогеохимический	Хаткевич, КОМСП	Прогноз от 21.05.98 – 5-6 баллов в ПТР, $M=7\pm 0,2$ в течение 6 месяцев		
2	ВСШ	Салтыков, КОМСП			Стабилизация фазы в течение 25 суток (на 2.06.98)
3	Вертикальное зондирование ионосферы,	Богданов, ИКИР			28-31.05 наблюдались характерные особенности, связанные с подготовкой землетрясений
4	ОНЧ-излучение	Дружин, ИКИР			Обнаружены аномалии

одной и той же пространственной области и одного и того же энергетического диапазона, то эффективность данного метода J определяется по формуле

$$J = \frac{N_+}{N \cdot \frac{T_{alarm}}{T}},$$

где N_+ – количество «ожидаемых» землетрясений, то есть соответствующих успешному прогнозу,

N – общее количество произошедших землетрясений с параметрами (местоположение-энергия), соответствующими прогнозу, то есть землетрясений, которые должны бы предсказываться,

T_{alarm} – общее время тревоги, то есть суммарная длительность всех прогнозов,

T – общее время мониторинга сейсмической обстановки по рассматриваемому методу.

В этом случае знаменатель дроби отражает среднее число возникновения землетрясений за время T_{alarm} в случае отсутствия связи прогнозов с землетрясениями. Соответственно, эффективность J показывает во сколько раз количество спрогнозированных землетрясений превышает число попавших в тревожное время случайным образом. Очевидно, что при случайном угадывании эффективность J равна 1.

Но в нашем случае только по нескольким методам прогнозы даются с постоянными параметрами (Возможно, что и это – временное явление). Поэтому формула для расчета J несколько видоизменена:

$$J = \frac{N_+}{\sum_i^I N(i) \cdot \frac{T_{alarm}(i)}{T}},$$

где i – один из I различных вариантов “пространственно-энергетической” формулировки прогноза. Соответственно, все величины с индексом i относятся именно к этому варианту. Тогда выражение под знаком суммы даст нам среднее число «случайное» успешных реализаций прогноза с данными параметрами, а их суммирование по i даст общее число случайных угадываний. Смысл J и N_+ остается при этом без изменений.

Таблица 3. Землетрясение 08.03.1999 г. $M_w=7.0$

№	Метод	Автор, организация	Прогноз	Предвестник, выявленный в режиме реального времени	Предвестник, выявленный ретроспективно
1	Гидрогеохимический	Хаткевич, КОМСП		Отмечались аномалии по хлору и УВГ	
2	Регистрация ЭМИ	Павлюков, Кролевец, КГПИ	Прогноз зем-ния: $K_s=13,6-14,5$, в течение 17.02-18.03.99 в районе $52-54^\circ$ с.ш. - $158-161^\circ$ в.д.		
3	Поле напряжений	Славина, Га-рагащ, ОИФЗ		От 14.02.99: выявлены две зоны с центрами $52,5N; 159,5E, 53,5N; 161,3E$, в которых вероятность возникновения земл-ния с $M \geq 6,0$ повышена	
4	ОНЧ-излучение	Дружин, ИКИР		От 5.03.99: возможно усиление сейсмической активности	Обнаружены аномальные возмущения
5	RTL	Кравченко, КОМСП			Обнаружена RTL-аномалия -11σ [6]

Примечание: Прогноз В.К.Павлюкова и А.Н. Кролевца считается оправдавшимся, т.к. 1) размер очага землетрясения превышает ошибку прогноза по положению, 2) согласно оперативному каталогу землетрясение соответствует прогнозу.

В Табл.11 представлены эффективности J не всех методов, которые упоминались выше. Это объясняется несколькими причинами: 1) отсутствием землетрясений, которые бы соответствовали классу прогнозируемых за 6 лет работы КамО ФЦПЗ и/или 2) отсутствием успешно реализованных прогнозов.

Представленные результаты не являются достаточно впечатляющими. Удивительного в этом ничего нет: проблема сейсмического прогноза широко известна. Но в данном случае мы не обсуждаем вопрос о существовании предвестников. Напомним, что получены оценки процесса выдачи непосредственно прогнозов, но не метода обнаружения предвестников, который лежит в их основе (и который мы никак не можем оценить, так как не работаем с данными наблюдений). Несмотря на небольшие значения эффективности, определенный оптимизм относительно улучшения величины J в будущем все-таки имеется. Основания для этого следующие: довольно много случаев (см. Табл. 2-11), когда предвестники своевременно обнаруживались, но прогноз не признавался успешным из-за ошибок в определении пространственно-временных и энергетических рамок ожидаемого землетрясения. Иногда речь шла буквально о десяти часах или десятке километров, но мы вынуждены использовать и использовали жесткие критерии. Такая малость ошибки позволяет надеяться, что методика интерпретации может быть скорректирована. И стоит сказать об еще одном аспекте полученных результатов: имея оценки прогнозов по отдельным методам (даже такие скромные), при рассмотрении сейсмической обстановки мы можем оценить эффективность совместного, или комплексного прогноза, исходя из предположения о независимости различных подходов.

Таблица 4. Землетрясение 18.09.1999 г. $M_w=6.0$

№	Метод	Автор, организация	Прогноз	Предвестник, выявленный в режиме реального времени	Предвестник, выявленный ретроспективно
1	Гидрогеохимический	Хаткевич, КОМСП		Отмечались аномалии по хлору. Прогноз на 1 месяц от 13.08.99, снятый 15.09.99, соответствует этому землетрясению по месту и энергии.	
2	ВСШ	Салтыков, КОМСП	От 16.09.99: прогноз 3-я с $M \geq 6$ в радиусе 250 км от п. Начики в течение 1 месяца		
3	вариации ГМП, АЭП приземного слоя атмосферы	Бузевич ИКИР		От 16.09.99: в Камчатском регионе ожидается усиление сейсмической активности в течение недели	
4	ОНЧ-излучение	Дружин, ИКИР	От 9.09.99: в Камчатском регионе возможно усиление сейсмической активности с $K > 13$ в течение месяца		

Таблица 5. Землетрясение 8.10.2001 г. $M_w=6.5$

№	Метод	Автор, Организация	Прогноз	Предвестник, выявленный в режиме реального времени	Предвестник, выявленный ретроспективно
1	2	3	4	5	6
1	Гидрогеохимический	Хаткевич, КОМСП			Аномалии по хлору
2	ВСШ	Салтыков, КОМСП			стабилизация фазы на п. Карымшина
3	вариации ГМП, АЭП приземного слоя атмосферы	Бузевич ИКИР		21-27.09.01 ожидается усиление сейсмической активности $K > 13$ в в районе 154-168E, 51-55N	
4	РВС	Широков, Фирстов, ИВиС			Аномалии, реализовавшиеся форошок-афтершоковой последовательностью с 5.10.01 и землетрясением 8.10.01

Продолжение таблицы 5.

1	2	3	4	5	6
5	Регистрация ЭМИ	Павлюков, Кролевец, КГПИ		Прогноз на 22-28.09 землетрясения с $K=14-14.7$ в радиусе до 250 км от ПТР	
6	V_p/V_s	Славина, ОИФЗ	От 9.09.01 прогноз: $M>5.5$ – в Авачинском заливе - на юге Камчатки. Прогноз давался на неделю, затем продлевался несколько раз.		
7	Скважинные гидродинамические	Копылова, КОМСП			13-28.09 наблюдалось понижение уровня с амплитудой 10 см
8	RTL	Кравченко, КОМСП			Обнаружена RTL-аномалия - 20σ [6]

Таблица 6. Землетрясение 16.10.2002 г. $M_w=6.2$

№	Метод	Автор, Организация	Прогноз	Предвестник, выявленный в режиме реального времени	Предвестник, выявленный ретроспективно
1	ОНЧ-излучение,	Дружин, ИКИР	Возможно усиление с 10.10.02 по 16.10.02 сейсмической активности с $K>13$ в Камчатском регионе		
2	ВСШ	Салтыков, КОМСП			стабилизация фазы на п. Карымшина
3	вариации ГМП, АЭП приземного слоя атмосферы	Бузевич ИКИР		Ожидается усиление сейсмической активности $K>12.6$ с 10.10.02 по 16.10.02 в районе 158-168E, 51-55N	
4	РВС	Широков, Фирстов, ИВиС		15.09 - 15.10 возможно з-е с $M=5.6\div 7.0$ в широтной полосе 49-53.5 с.ш. (сейсмофокальная зона)	
5	V_p/V_s	Славина, ОИФЗ		С 12.09.02 прогноз: $M>6$ – в Кроноцком заливе, в р-не Кроноцкого п-ва. Прогноз давался на неделю, затем продлевался несколько раз.	

Продолжение таблицы 6.

1	2	3	4	5	6
6	радон	Фирстов, ИВиС		15.09 - 15.10 возможно землетрясение с $M>6$	
7	Скважинные гидродинами- ческие	Копылова, КОМСП			

Таблица 7. Землетрясение 15.03.2003 г. $M_w=6.0$

№	Метод	Автор, Организация	Прогноз	Предвестник, выявлен- ный в режиме реального времени	Предвестник, выяв- ленный ретроспек- тивно
1	2	3	4	5	6
1	ГГД- мониторинг	Смолина, Камчатнедра			9.03-10.03 наблюда- лось незначительное повышение уровня (1-2 см), указываю- щее на нарастание деформаций сжатия в р-не юго- восточной Камчатки
1	2	3	4	5	6
2	ВСШ	Салтыков, КОМСП		Землетрясение про- изошло через неделю после завершения срока прогноза от 10.01.03 (п.Карымшина) и от 5.02.03 (п.Начики). Ожидалось $M\geq 6.0$ на расстоянии до 250 км.	
3	вариации ГМП, АЭП приземного слоя атмосфе- ры	Бузевич ИКИР	Усиление сейс- мической актив- ности $K>12.6$ 13.03-20.03 в районе 51-55N, 158-168E		
4	V_p/V_s	Славина, ОИФЗ	$M>6$ – в р-не Шипунского п- ва, Авачинского, Кроноцкого и Камчатского за- ливов		
5	астрологиче- ский	Лездиньш		Прогноз на 4-11.03.03 $M=6-7$ на восточном побережье Камчатки	

Таблица 8. Землетрясение 16.06.2003 г. $M_w=6.9$

№	Метод	Автор, Организация	Прогноз	Предвестник, выявленный в режиме реального времени	Предвестник, выявленный ретроспективно
1	ВСШ	Салтыков, КОМСП		Прогноз от 30.05.03: в течение 1 месяца ожидалось $M \geq 6.0$ на расстоянии до 250 км. Реальное расстояние равно 300 км.	
3	астрологический	Лездиньш	Прогноз на 5-19.06.03 $M=6-7$ на восточном побережье Камчатки		

Таблица 9. Землетрясение 5.12.2003 г. $M_w=6.7$

№	Метод	Автор, Организация	Прогноз	Предвестник, выявленный в режиме реального времени	Предвестник, выявленный ретроспективно
1	V_p/V_s	Славина, ОИФЗ		Прогноз от 14.11.03: ожидается $M \geq 5.5$ в Авачинском или Кроноцком заливах. Прогноз давался на неделю, затем продлевался несколько раз.	
2	радон	Фирстов, ИВиС		Прогноз: с 20.11.03 по 10.12.03 в акватории Тихого океана у берегов п-ва Камчатка на широтах 50.5-55.0N ожидается зем-ние с $M > 6.5$.	

Таблица 10. Землетрясение 14.04.2004 г. $M_w=6.2$

№	Метод	Автор, Организация	Прогноз	Предвестник, выявленный в режиме реального времени	Предвестник, выявленный ретроспективно
1	ОНЧ-излучение,	Дружин, ИКИР		Прогноз от 25.03.04: $K > 13$ в районе 158-168E, 51-55N. Прогноз давался на неделю, затем продлевался несколько раз.	
3	астрологический	Лездиньш	Прогноз на 12-14.04.04 $M \geq 6$ на восточном побережье Камчатки		

Таблица 11. Эффективность J прогнозов землетрясений

№	Метод	Автор, Организация	Эффективность J
1	ОНЧ-излучение,	Дружин, ИКИР	2.7
2	ВСШ	Салтыков, КОМСП	0.9
3	вариации ГМП, АЭП приземного слоя атмосферы	Бузевич, ИКИР	1.3
	Регистрация ЭМИ	Павлюков, Кролевец, КГПИ	1.2
	Астрологический	Лездиньш	2.2
	Мб	Широков, ИВиС	1.3
4	РВС	Широков, Фирстов, ИВиС	1.6
5	Vp/Vs	Славина, ОИФЗ	1.3
6	радон	Фирстов, ИВиС	1.7

Список литературы

1. Абубакиров И.Р., Гусев А.А., Гусева Е.М. Отражение процесса подготовки Кроноцкого землетрясения 05.12.97 во временных вариациях скорости спада огибающих кода-волн слабых землетрясений // Кроноцкое землетрясение на Камчатке 5 декабря 1997 года: предвестники, особенности, последствия. 1998. Петропавловск-Камчатский. С. 112-120.
2. Гарагаш И.А. Анализ изменений напряженного состояния земной коры при подготовке Кроноцкого землетрясения // Кроноцкое землетрясение на Камчатке 5 декабря 1997 года: предвестники, особенности, последствия. 1998. Петропавловск-Камчатский. С. 106-111.
3. Гусев А.А. Прогноз землетрясений по статистике сейсмичности // Сейсмичность и сейсмический прогноз, свойства верхней мантии и их связь с вулканизмом на Камчатке. Новосибирск: Наука. 1974. С.109-119.
4. Иванов В.В., Салтыков В.А. Система оценки сейсмической опасности “RTL-анализатор” // (статья в данном сборнике)
5. Копылова Г.Н. Изменения уровня воды в скважине Елизовская-1, Камчатка, вызванные сильными землетрясениями (по данным наблюдений в 1987-1998 гг.) // Вулканология и сейсмология. 2001. №2. С.39-52.
6. Кравченко Н.М. Оценка надежности прогностического параметра RTL // (статья в данном сборнике)
7. Кролевец А.Н., Павлюков В.К. Приливной отклик импульсного электромагнитного излучения и краткосрочный прогноз сильных землетрясений // Проблемы сейсмичности Дальнего Востока. Петропавловск-Камчатский. 2000. С.175-185.
8. Мороз Ю.Ф., Кузнецова В.П., Трубников В.М., Мороз Т.А. Аномальные эффекты в земных электрических токах перед сильным Кроноцким землетрясением в 1997 г. // Кроноцкое землетрясение на Камчатке 5 декабря 1997 года: предвестники, особенности, последствия. 1998. Петропавловск-Камчатский. С. 189-196.

9. Мороз Ю.Ф., Мороз Т.А., Назарец В.П., Нечаев С.А., Смирнов С.Э. Электромагнитное поле земли в изучении геодинамических процессов // (статья в данном сборнике).
10. Рыкунов Л.Н., Салтыков В.А., Сеницын В.И., Чебров В.Н. Характерные параметры высокочастотного сейсмического шума перед сильными камчатскими землетрясениями 1996 г. // Доклады РАН. 1998. Т.361. №3. С.402-404.
11. Рябинин Г.В., Хаткевич Ю.М. Анализ воздействия сейсмического режима на макрокомпонентный состав подземных вод юго-востока полуострова Камчатка (на примере скважины ГК-1, станция Пиначево) // (статья в данном сборнике).
12. Салтыков В.А., Кугаенко Ю.А. Сейсмические затишья перед двумя сильными землетрясениями 1996 г. на Камчатке // Вулканология и сейсмология. 2000. №1. С.57-65.
13. Салтыков В.А., Чебров В.Н., Сеницын В.И., Касахара М., Кугаенко Ю.А. Сеть пунктов регистрации высокочастотных сейсмических шумов // (статья в данном сборнике)
14. Салтыков В.А., Сеницын В.И., Чебров В.Н. Вариации приливной компоненты высокочастотного сейсмического шума в результате изменений напряженного состояния среды // Вулканология и сейсмология. 1997. №4. С.73-83.
15. Славина Л.Б., Мячкин В.В., Левина В.И. Опыт применения кинематических предвестников сейсмического поля для прогноза землетрясений на Камчатке // (статья в данном сборнике)
16. Соболев Г.А., Пономарев А.В. Физика землетрясений и предвестники. М.: Наука. 2003. 270 с.
17. Соболев Г.А., Тюпкин Ю.С. Аномалии в режиме слабой сейсмичности перед сильными землетрясениями Камчатки // Вулканология и сейсмология. 1996. №4. С.64-74.
18. Соболев Г.А., Тюпкин Ю.С. Стадии подготовки, сейсмические предвестники и прогноз землетрясений Камчатки // Вулканология и сейсмология. 1998. № 6. С.17-26.
19. Соболев Г.А., Тюпкин Ю.С., Смирнов В.Б., Завьялов А.Д. // Доклады РАН. 1996. Т.347. №3. С.405-415.
20. Фирстов П.П. Мониторинг объемной активности подпочвенного радона на Паратунской геотермальной системе в 1997-1998 гг. с целью поиска предвестников сильных землетрясений Камчатки // Вулканология и сейсмология. 1999. № 6. С.22-32.
21. Хаткевич Ю.М., Рябинин Г.В. Гидродинамические и гидрогазохимические вариации параметров режима подземных вод в периоды подготовки и реализации Кроноцкого землетрясения 05.12.97 г. // Кроноцкое землетрясение на Камчатке 5 декабря 1997 года: предвестники, особенности, последствия. 1998. Петропавловск-Камчатский. С. 134-147.
22. Хаткевич Ю.М., Рябинин Г.В. Гидрогеохимические исследования на Камчатке // (статья в данном сборнике).
23. Богданов В.В., Бузевич А.В., Виноцкий А.В., Дружин Г.И., Купцов А.В., Поддельский И.Н., Смирнов С.Э., Чернева Н.В., Шевцов Б.Н. О влиянии солнечной активности на атмосферные и сейсмические процессы Камчатки // (статья в данном сборнике).
24. Широков В.А. Опыт краткосрочного прогноза времени, места и силы камчатских землетрясений 1996-2000 гг. с магнитудой $M=6-7.8$ по комплексу сейсмологических данных // Геодинамика и вулканизм Курило-Камчатской островодужной системы. Петропавловск-Камчатский. 2001. С.95-116.
25. A.Gusev Temporal variations of the coda decay rate on Kamchatka: are they real and precursory? // JGR. 1997. Vol.102. No. B4. P.8381-8396.
26. Wyss M., Habermann R.E. Precursory seismic quiescence // PAGEOPH. 1988. V. 126. № 2/4. P. 319-332.