

УДК 550.343

## СРЕДНЕСРОЧНЫЕ ПРЕДВЕСТНИКИ СИЛЬНЫХ ( $M \geq 6.6$ ) ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ КАМЧАТКИ 1987–2004 гг.: РЕТРОСПЕКТИВНАЯ ОЦЕНКА ИХ ИНФОРМАТИВНОСТИ ДЛЯ ПРОГНОЗА

© 2010 г. Ю. К. Серафимова, Г. Н. Копылова

*Камчатский филиал Геофизической службы РАН  
683006 Петропавловск-Камчатский, бульвар Пийпа, 9;  
E-mail: yulka@emsd.ru*

Поступила в редакцию 22.06.2009 г.

По литературным данным выполнена систематизация среднесрочных (со временем упреждения от одного месяца до ~2.5 лет) предвестников камчатских землетрясений 1987–2004 гг. с  $M \geq 6.6$ , проявившихся в изменениях ряда сейсмологических, геодезических, геофизических и гидрогеохимических параметров. Проводится ретроспективная оценка информативности рассмотренных среднесрочных предвестников для прогноза землетрясений. Основное внимание уделялось оценке зависимости между временем проявления различных предвестников и параметрами землетрясений (магнитуда  $M$ , гипоцентральное расстояние  $R$ , месторасположение). В условиях камчатской наблюдательной сети предвестники проявляются по комплексу методов, главным образом, перед землетрясениями с  $M \sim 7$  и более в районах южнее Кроноцкого полуострова, для которых величина  $M/\lg R \geq 3$ . Показано, что для разных методов доля землетрясений, перед которыми выявлены предвестники, составляет 0.43–0.86.

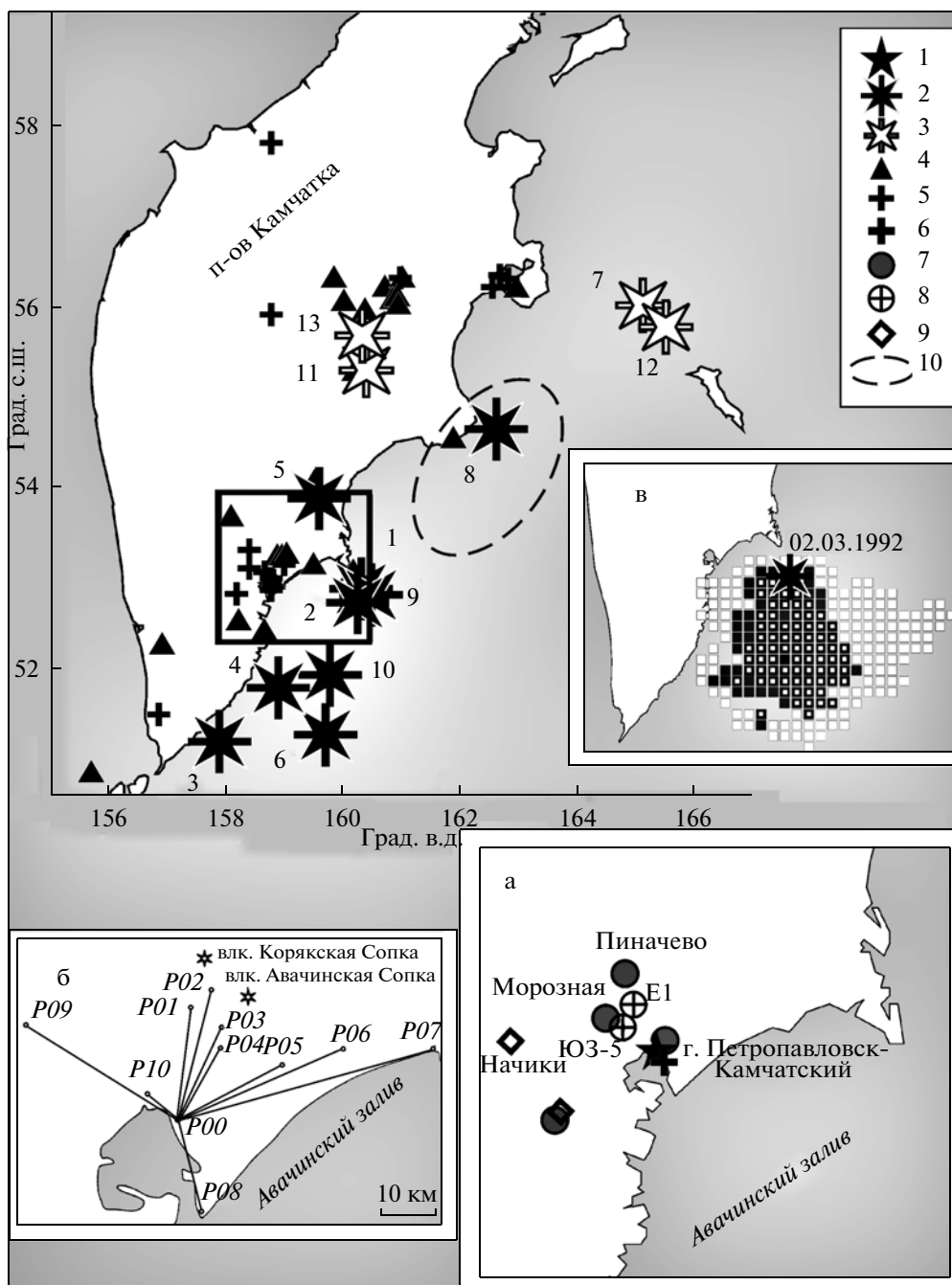
### ВВЕДЕНИЕ

На Камчатке в течение нескольких десятилетий проводятся комплексные геофизические наблюдения с целью поиска предвестников сильных землетрясений: с 1961 г. ведутся детальные сейсмологические наблюдения, со второй половины 1970-х гг. — светодальномерные, гидрогеохимические, гидрогеодинамические и другие. В 1990-х гг. разнообразие видов наблюдений продолжало увеличиваться, но основное число пунктов наблюдений было сосредоточено на территории Петропавловского полигона (рис. 1). В настоящее время здесь ведется поиск предвестников землетрясений с использованием примерно 20-ти методов [3]. Оценка сейсмической опасности в форме выдачи долгосрочных, среднесрочных и краткосрочных прогнозов осуществляется специализированными экспертными советами по прогнозу землетрясений на основе результатов комплексного геофизического мониторинга [3, 6, 7]. Вместе с тем, информация о проявлениях предвестников, выявленных в реальном времени, имеет, в основном, служебный характер, а объем данных о предвестниках сильных камчатских землетрясений по большей части видов наблюдений, находящийся в открытом доступе, весьма ограничен. Кроме этого, в большинстве опубликованных работ по предвестникам камчатских землетрясений, выявленных в различных полях Земли, рассматривается их связь, в основном, с относительно слабыми сейсмическими событиями с величинами магнитуд не более 5–6, прогнозирование

которых имеет преимущественно научный характер, так как такие землетрясения не сопровождаются катастрофическими последствиями для населения и состояния окружающей среды.

Вместе с тем, наличие ряда предвестников, проявившихся на временных интервалах от первых лет до первых десятков суток перед сильными ( $M \geq 6.6$ ) землетрясениями Камчатки 1987–2004 гг., указывает на возможность их среднесрочного прогноза, практическая ценность которого состоит в оценке времени возникновения землетрясения с заблаговременностью, позволяющей осуществлять необходимые превентивные научные и социальные мероприятия. При этом предполагается, что среднесрочный прогноз землетрясений может быть построен на основе анализа предвестников в различных полях Земли, время проявления и амплитуды которых связаны эмпирическими зависимостями с магнитудой и местом будущего землетрясения [15]. Но до настоящего времени такие зависимости по отдельным методам либо не установлены, либо ограниченно используются в практике прогнозирования землетрясений.

В настоящей работе по литературным данным проводится ретроспективная оценка информативности среднесрочных предвестников в изменениях ряда сейсмологических, геодезических, геофизических и гидрогеохимических параметров для прогноза сильных камчатских землетрясений с  $M \geq 6.6$ , произошедших в 1987–2004 гг. и сопровождавшихся ощутимыми сотрясениями в континентальных



**Рис. 1.** Схема расположения эпицентров землетрясений 1987–2004 гг. с  $M \geq 6.6$  (номера землетрясений соответствуют номерам в табл. 1) и пунктов наблюдений (квадратом выделена территория Петропавловского полигона).

На врезках: а – территория Петропавловского полигона и расположение пунктов наблюдений, б – схема расположения линий светодальномерных измерений из обсерватории Мишенная [1], в – пространственное положение аномалии параметра RTL, предвалявшей землетрясение 02.03.1992 г. [9].

1 – центр сбора и обработки информации в г. Петропавловске-Камчатском (а); 2 – землетрясения с величинами отношения  $M/lgR \geq 3$ ; 3 – землетрясения с величинами отношения  $M/lgR < 3$ ; 4 – радиотелеметрические сейсмические станции; 5 – пункты GPS-наблюдений; 6 – обсерватория Мишенная (а); 7 – пункты наблюдений за химическим составом подземных вод (а); 8 – пьезометрические скважины, на которых регистрируются вариации уровня воды (а); 9 – пункты регистрации ВСШ (а); 10 – очаг Кроноцкого землетрясения 05.12.1997 г.,  $M_W = 7.8$ .

районах Камчатки с интенсивностью не менее 4–7 баллов по шкале MSK-64. Выбор рассматриваемых предвестников обусловлен наличием в открытой печати авторских публикаций по отдельным видам

наблюдений, в которых достаточно подробно представлены данные о выявленных предвестниках за многолетний период, приводится их описание, а также даются оценки времени их проявления перед

**Таблица 1.** Данные о землетрясениях с  $M \geq 6.6$ , произошедших в 1987–2004 гг. (по данным КФ ГС РАН, ГС РАН, NEIC)

№	Дата, год, месяц, число	Время, ч : м : с	Широта, град. с.ш.	Долгота, град. в.д.	Глубина, км	Класс $K_S$	R, км	$M_W$ NEIC	M/lg R	Баллы по шкале MSK64
1	1987.10.06	20:11:36	52.86	160.23	33	14.1	120	6.6**	3.17	4–5 РЕТ
2	1992.03.02	12:29:39	52.76	160.20	20	14.6	110	6.9	3.38	5–6 РЕТ
3	1993.06.08	13:03:37	51.20	157.80	40	15.0	210	7.5	3.23	5 РЕТ
4	1993.11.13	01:18:07	51.79	158.83	40	14.6	140	7.0**	3.27	5–6 РЕТ
5	1996.01.01	09:57:46	53.88	159.44	0	14.3	110	6.9**	3.38	4–5 РЕТ
6	1996.06.21	13:57:06	51.27	159.63	2	13.9	210	7.0	3.01	3–5 РЕТ
7	1996.07.16	03:48:25	56.00	165.05	40	13.4	540	6.6	2.42	
8	1997.12.05	11:26:51	54.64	162.55	10	15.5	200*	7.8	3.39	5–6 РЕТ
9	1998.06.01	05:34:03	52.81	160.37	31	13.8	120	6.9	3.32	4–5 РЕТ
10	1999.03.08	12:25:43	51.93	159.72	7	14.3	140	7.0	3.26	4–6 РЕТ
11	2003.06.16	22:08:02	55.30	160.34	190	14.7	340	6.9	2.73	3–4 РЕТ
12	2003.12.05	21:26:14	55.78	165.43	29	14.8	540	6.7	2.45	2–3 РЕТ
13	2004.06.10	15:19:55	55.68	160.25	208	14.9	380	6.9	2.68	3–4 РЕТ

Примечание. \* – расстояние до центра очаговой области, \*\* – магнитуда  $M_S$  по данным ГС РАН, г. Обнинск, РЕТ – г. Петропавловск-Камчатский.

конкретными землетрясениями. Для оценки информативности рассматриваемых предвестников данные об их проявлении по различным видам наблюдений были систематизированы и выполнен анализ связи между числом предвестников, временем их проявления и параметрами землетрясений: магнитудой  $M$  и величиной отношения  $M/\lg R$ , где  $R$  – гипоцентральное расстояние до г. Петропавловска-Камчатского (км), расположенного в центре Петропавловского полигона. Величина  $M/\lg R$  применяется в качестве параметра, характеризующего интенсивность процессов подготовки землетрясений с учетом удаленности соответствующих очагов от центра полигона.

#### ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ И МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

В работе рассматриваются предвестники 13-ти землетрясений с  $M = 6.6–7.8$ , произошедших в 1987–2004 гг. Расположение их эпицентров и основные данные приводятся на рис. 1 и в табл. 1. При этом 12 из 13-ти событий относятся к межплитовым, возникающим в коре и верхней мантии при взаимодействии Тихоокеанской океанической плиты и континентальных микроплит Охотоморской и Берингийской. Такие землетрясения приурочены к области наклонной сейсмофокальной зоны, падающей под континент. Землетрясение № 5 (см. табл. 1) произошло в континентальном вулканическом районе и сопровождалось извержением вулкана Карымский и подводным извержением в кальдере Академии Наук.

В основу работы положены публикации по пяти видам наблюдений (светодальномерные [4, 11], гидрогеохимические [8, 18, 19], гидрогеодинамические [5], метод RTL [9, 16, 17], метод ВСШ [10, 12, 13, 14]).

В качестве количественного параметра предвестниковых аномалий использовалось время (продолжительность) их проявления  $T$ , которое оценивалось от начала аномалии до момента землетрясения.

По данным светодальномерных измерений длин линий из обсерватории Мишенная в 1979–1998 гг. (рис. 1а, 1б) в качестве предвестниковых аномалий рассматривается их бухтообразное укорачивание, которое указывает на горизонтальное сжатие территории полигона [1]. Такие бухты сжатия авторы [4, 11] связывают с подготовкой землетрясений 1, 2, 8 (см. табл. 1). Продолжительность такого предвестника составляет от 8–9 до 24 мес.

По данным гидрогеохимических наблюдений в качестве характерного предвестника рассматривается понижение концентрации иона хлора в воде скв. ГК-1 на станции Пиначево (см. рис. 1а). По оценкам авторов [8, 18, 19] продолжительность такого предвестника перед шестью сильными землетрясениями Камчатки в 1987–2003 гг. составляла 1.5–9 мес.

По данным уровнемерных наблюдений на скв. Е1 (см. рис. 1а) с 1987 по март 1998 гг. в качестве предвестника рассматривается понижение уровня воды со скоростью не менее 0.06 см/сут в течение недель – первых месяцев [5]. Продолжительность предвестника перед шестью сильными землетрясе-

**Таблица 2.** Состав и время проявления предвестников перед землетрясениями с  $M \geq 6.6$  (см. табл. 1)

№	Дата землетрясения, год, месяц, число	Продолжительность проявления предвестников по рассматриваемым методам Т					
		Метод RTL, месяцы		Понижение уровня воды в скв. Е1 [5], недели	Метод ВСШ, пункт Начики [10, 12, 13, 14], сутки	Изменение концентрации иона хлора в воде скв. ГК-1 станция Пиначево [8, 18, 19], месяцы	Данные светодальномерных наблюдений [3, 10], месяцы
		по [16, 17]	по [9]				
1	1987.10.06		5	5		6.5–7	8–9
2	1992.03.02	~5	6	9.5	?	9	8–9
3	1993.06.08	~13	10	36	34	1.5	
4	1993.11.13	~12	15	12	?	1.5	
5	1996.01.01		14	н.д.	28	3	
6	1996.06.21		11	14	23		
7	1996.07.16		6				
8	1997.12.05	~31	24	?	~35	5–6	~24
9	1998.06.01				25		
10	1999.03.08		27				
11	2003.06.16				41		
12	2003.12.05						
13	2004.06.10			~7	48		

Примечание. ? – предвестник выявлен, но нет данных о его продолжительности, н.д. – нет данных.

ниями из семи произошедших за время непрерывных наблюдений варьирует от 5 до 36 недель.

В вариациях прогностического параметра RTL в качестве предвестника рассматривается его бухтообразное изменение [9, 16, 17]. Параметр RTL рассчитывается по данным регионального каталога землетрясений Камчатки, полученного КФ ГС РАН. В расчетах параметра RTL используются данные о землетрясениях с величинами энергетических классов  $13 \geq K \geq 9$  на глубинах 30–100 км в областях с радиусом до 100 км от эпицентров землетрясений 1–13 (см. табл. 1). Уменьшение и последующее увеличение параметра RTL указывает на последовательную смену стадий затишья и форшоковой активизации в области очага будущего землетрясения.

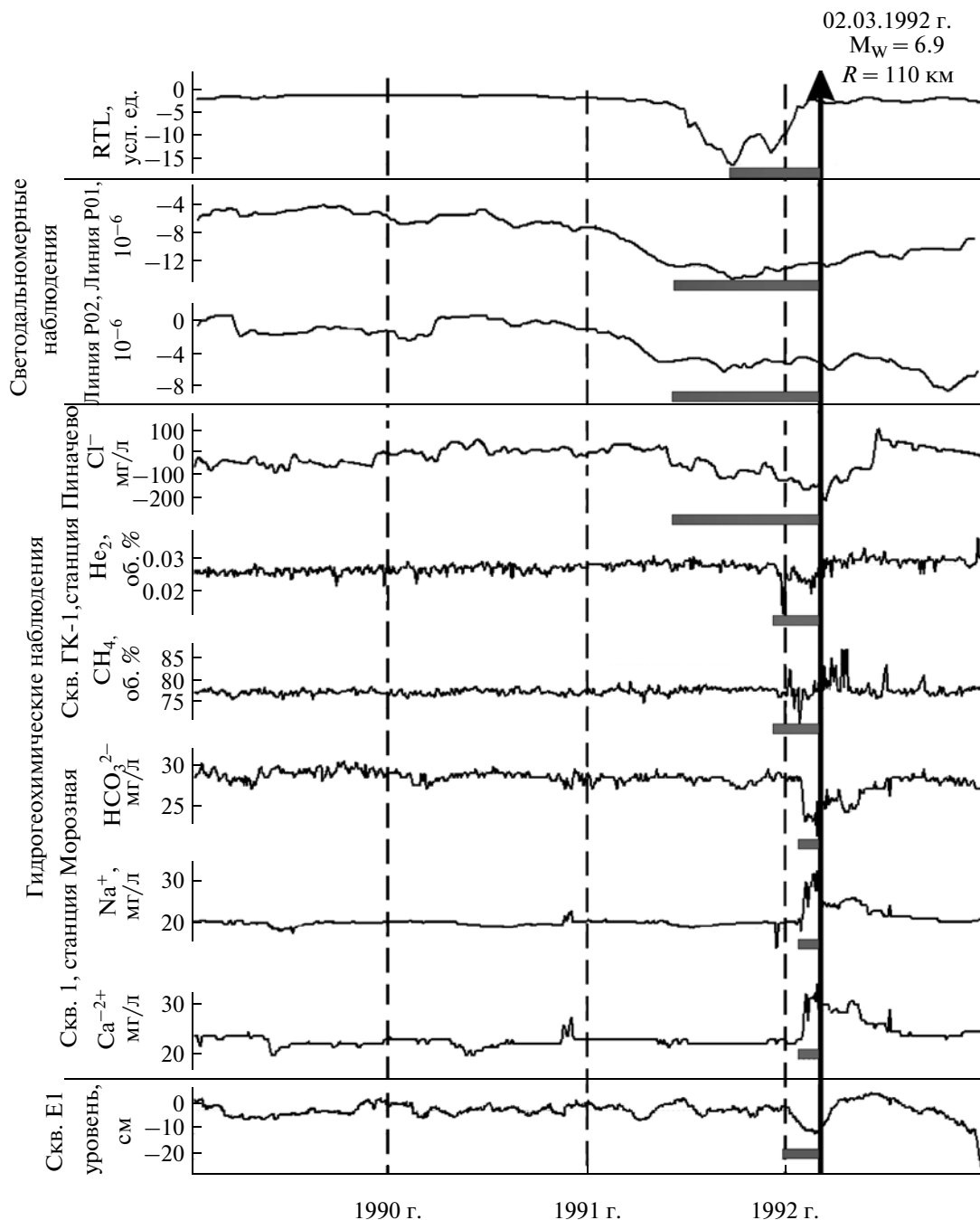
Продолжительность проявления аномалий по параметру RTL оценивалась по данным двух разных источников. В [16, 17] приводится расчет параметра RTL по состоянию на 1990-е гг. При этом выявленные аномалии сопоставляются только с наиболее сильными землетрясениями (2–4, 8, см. табл. 1). По оценкам автора [16, 17] магнитуды этих землетрясений  $M \geq 7.0$ .

В [9] приводятся схемы пространственного расположения и оценки продолжительностей аномалий параметра RTL для диапазона глубин 30–100 км перед камчатскими землетрясениями с  $M \geq 6.0$  за период 1980–2003 гг. В настоящей работе продолжительность этого предвестника (5–31 мес.) оценивается от момента достижения параметром RTL

минимума до момента землетрясения по [9, 16, 17]. Оценка связи между временем проявления предвестника Т и параметрами землетрясений проводилась для каждого из двух вариантов в отдельности. При оценке количества предвестников N перед землетрясениями (см. табл. 1) с учетом параметра RTL использовались данные из обоих источников, т.е. метод рассматривался как один. Учитывая то, что оба варианта расчета параметра RTL дают непротиворечивые результаты, такой подход является оправданным.

Метод ВСШ основан на изучении вариаций фазы компоненты высокочастотного сейсмического шума, связанной с воздействием приливной волны  $O_1$  [10, 12, 13, 14]. Характерным признаком подготовки сильного землетрясения является стабилизация фазы на одном из уровней в течение не менее трех недель. Для рассматриваемых землетрясений (см. табл. 1) продолжительность предвестника составляет от 23 до 48 сут.

Для каждого землетрясения определялся состав и время проявления предвестников (Т) по пяти рассматриваемым методам (табл. 2). На рис. 1в и рис. 2 приводится пример проявления предвестниковых аномалий перед землетрясением 02.03.1992 г.,  $M_w = 6.9$ . Перед этим событием продолжительность предвестниковых вариаций по рассматриваемым методам изменялась от девяти до одного месяца. По мере приближения момента землетрясения число методов, по которым проявлялись предвестники, а

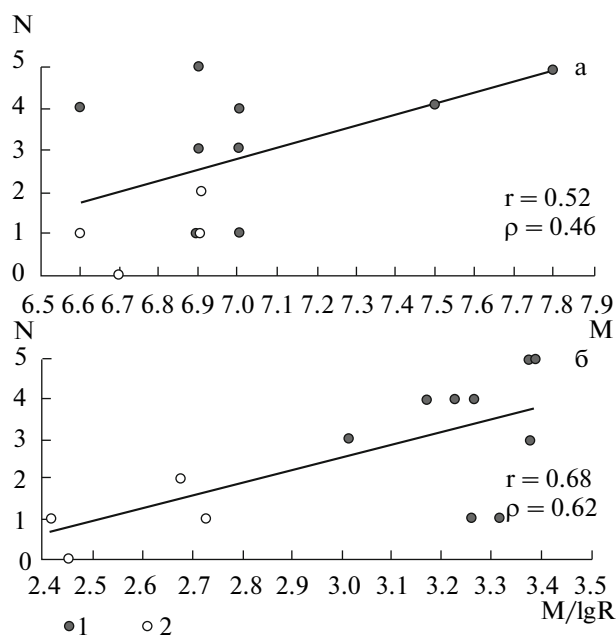


**Рис. 2.** Проявление предвестников перед землетрясением 2 марта 1992 г.,  $M_w = 6.9$ .  $R$  – расстояние до центра полигона. Горизонтальными серыми линиями показано время проявления предвестников.

также число пунктов наблюдений, на которых фиксировались аномалии, постепенно увеличивалось и достигло максимума примерно за один месяц до события. Наиболее яркие аномалии проявились в изменениях концентраций компонентов химического состава подземных вод и газов в самоизливающихся скв. ГК-1 станции Пиначево и скв. 1 станции Морозная (см. рис. 1а) [8].

Для землетрясений с величинами параметра интенсивности сейсмического воздействия  $M/\lg R \geq 3$

количество методов, по которым проявлялись предвестники, варьирует от трех до пяти. Исключение составляют два события – 01.06.1998 г. и 08.03.1999 г. (см. табл. 1). Перед первым из них проявлялся предвестник только по данным ВСШ, перед вторым – по параметру RTL (см. табл. 2). Эти два события произошли через 6 и 15 месяцев после сильнейшего Кроноцкого землетрясения 05.12.1997 г. Поэтому можно предположить, что процессы их подготовки происходили на фоне постсейсмических вариаций.



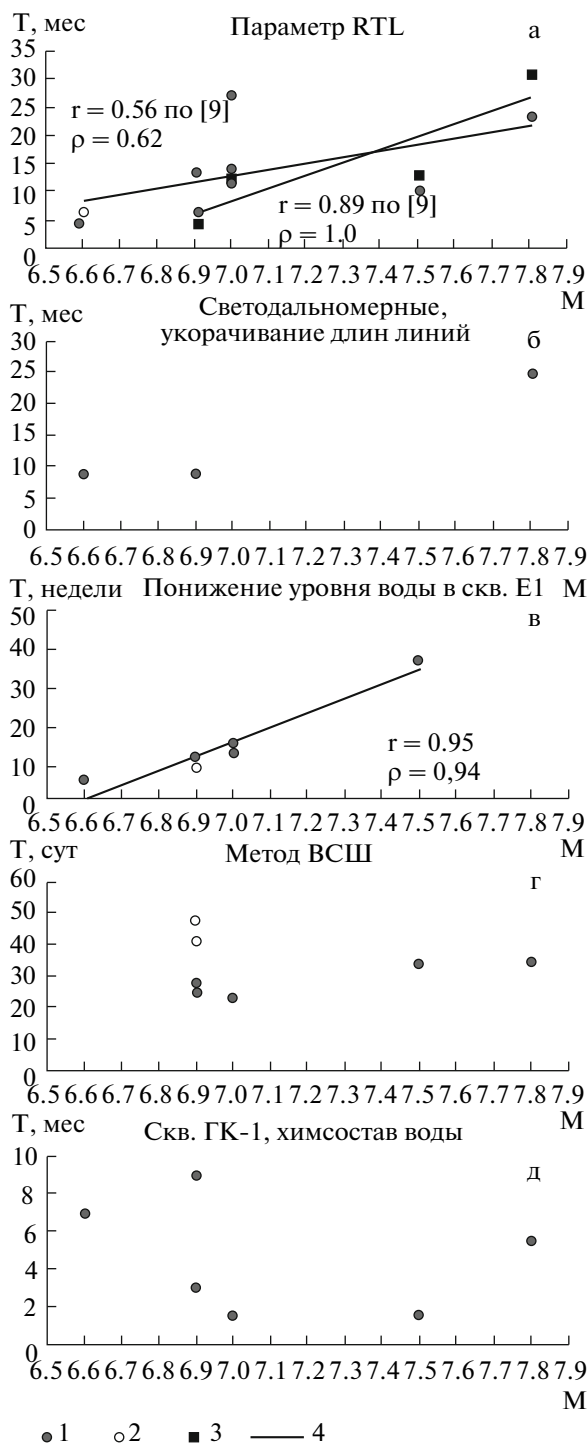
**Рис. 3.** Зависимость числа предвестников  $N$  по рассматриваемым методам от параметров землетрясений  $M$  (а) и  $M/\lg R$  (б).

1 – землетрясения с величинами отношения  $M/\lg R \geq 3$ ; 2 – землетрясения с величинами отношения  $M/\lg R < 3$ .  $r$  – выборочный коэффициент корреляции,  $\rho$  – коэффициент ранговой корреляции Спирмена.

**Рис. 4.** Зависимость времени проявления предвестников  $T$  от величины магнитуды землетрясений  $M$ : а – в режиме слабой сейсмичности по параметру RTL, б – укорачивание длин линий светодальномерных измерений, в – понижение уровня воды в скв. Е1, г – стабилизации фазы компоненты  $O_1$  в изменениях ВСШ, д – понижение концентрации хлора в воде скв. ГК-1.

1 – землетрясения с величинами  $M/\lg R \geq 3$ ; 2 – землетрясения с величинами  $M/\lg R < 3$  (а, в, г); 3 – землетрясения с  $M \geq 7$  (по [16, 17]) (а); 4 – тренд зависимости при величинах выборочного коэффициента корреляции  $r \geq 0.5$  и коэффициента ранговой корреляции Спирмена  $\rho$  при величине его статистической значимости  $p \leq 0.05$  (а, в).

Для землетрясений с величинами параметра интенсивности сейсмического воздействия  $M/\lg R < 3$  количество методов, по которым проявлялись предвестники, варьирует от нуля до двух. Следует отметить, что все эти землетрясения произошли севернее  $55.0^\circ$  с.ш. (см. рис. 1). Поэтому уменьшение величины интенсивности сейсмического воздействия  $M/\lg R$  определяется, в первую очередь, относительно большими гипоцентрными расстояниями таких землетрясений ( $R = 340\text{--}540$  км).



На рис. 3–5 представлены диаграммы, характеризующие связь между параметрами предвестников (количество методов  $N$ , по которым выделялись аномалии-предвестники; время их проявления  $T$ ) и параметрами землетрясений: магнитудой  $M$  и величиной  $M/\lg R$ . При построении диаграмм на рис. 3–5 использовались данные табл. 2.

Результаты корреляционного анализа зависимостей  $T\text{--}M$  и  $T\text{--}M/\lg R$  по четырем методам

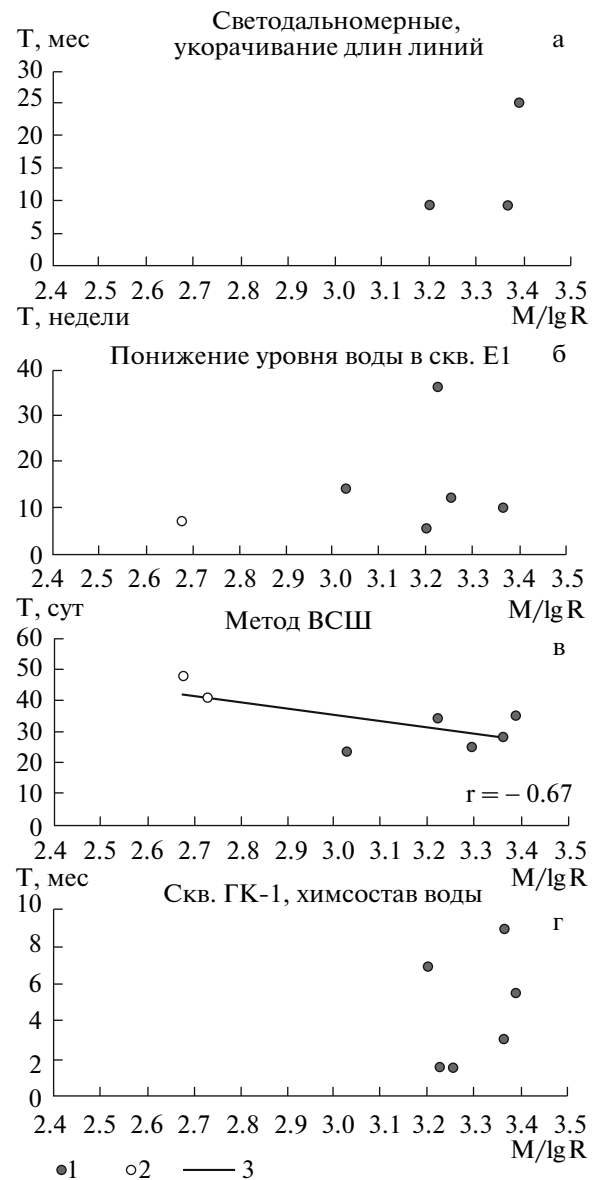
приведены в табл. 3. Метод светодальномерных наблюдений не рассматривался в связи с малым количеством наблюдений предвестников ( $k = 3$ ). В качестве величин, характеризующих статистическую связь времени проявления предвестников и параметров землетрясений, использовались выборочный коэффициент корреляции  $r$  (при его величине  $\geq |\pm 0.5|$ ) и коэффициент ранговой корреляции Спирмена  $\rho$  при величине статистической значимости  $p \leq 0.05$  для выборок объемом не менее  $k \geq 4$  [2].

В связи с тем, что по отдельным видам наблюдений имеются данные за ограниченный интервал времени, меньший периода 1987–2004 гг., в качестве показателя связи землетрясений и предвестников используется также отношение  $s = n/m$ , где  $n$  – число землетрясений, перед которыми проявлялся предвестник,  $m$  – число произошедших землетрясений в рассматриваемый период наблюдений (табл. 4).

### РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

На рис. 3 приводятся диаграммы, характеризующие связь числа предвестников  $N$  и параметров землетрясений: магнитуды  $M$  и величины  $M/\lg R$ . Сопоставление рис. 3а и 3б показывает, что использование параметра  $M/\lg R$ , учитывающего удаленность очагов землетрясений от центра Петропавловского полигона, приводит к некоторому улучшению связи и к увеличению коэффициента корреляции  $r$  от 0.52 до 0.68 и к увеличению коэффициента ранговой корреляции Спирмена  $\rho$  от 0.46 до 0.62. Тенденция прямой статистической связи между числом предвестников  $N$  и параметрами землетрясений  $M$  и  $M/\lg R$  указывает, что в среднесрочном режиме такой показатель, как число предвестников  $N$ , является вполне информативным при прогнозировании наиболее сильных и относительно “близких” по отношению к территории Петропавловского полигона землетрясений.

Анализ зависимостей  $T-M$  по отдельным методам указывает на прямую связь времени проявления предвестников  $T$  от магнитуды последующего землетрясения в режиме слабой сейсмичности по параметру  $RTL$  (см. рис. 4а), а также для понижений уровня воды в скважине Е1 (см. рис. 4в). Вместе с тем, обнаруживается отсутствие связи между временами стабилизации фазы компоненты  $O_1$  в изменениях ВСШ, понижениями концентрации хлора в воде скважины ГК-1 и магнитудами последующих землетрясений (см. рис. 4г, 4д). Это показывает, что время проявления большей части рассматриваемых предвестников не является информативной характеристикой для оценки магнитуды последующего землетрясения.



**Рис. 5.** Зависимость времени проявления предвестников  $T$  от параметра землетрясений  $M/\lg R$ : а – укорачивание длин линий светодальномерных измерений, б – понижение уровня воды в скв. Е1 в – стабилизации фазы компоненты  $O_1$  в изменениях ВСШ, г – понижение концентрации хлора в воде скважины ГК-1.  
1 – землетрясения с величинами  $M/\lg R \geq 3$ ; 2 – землетрясения с  $M/\lg R < 3$  (б, в); 3 – тренд зависимости при величинах выборочного коэффициента корреляции  $r \geq 0.5$  и коэффициента ранговой корреляции Спирмена  $\rho$  при величине статистической значимости  $p \leq 0.05$  (в).

Использование параметра  $M/\lg R$ , учитывающего удаленность землетрясений от центра Петропавловского полигона и от соответствующих пунктов наблюдений, не приводит к существенному улучшению статистической связи между временем

**Таблица 3.** Корреляционный анализ зависимости времени проявления предвестников  $T$  от параметров землетрясений  $M$  и  $M/\lg R$ 

		Метод RTL, по [9]	Метод RTL, по [16, 17]	Метод ВСШ, по [10, 12, 13, 14]	Гидрогеохимиче- ские наблюде- ния, по [8, 18, 19]	Гидрогеодина- мические на- блюдения, по [5]	Светодально- мерные наблю- дения, по [4, 11]
$M$	$r$	0.56	0.89			0.95	
	$\rho$	0.62	1.0			0.94	
	$n$	9	4	7	6	6	3
$M/\lg R$	$r$			-0.67			
	$\rho$						
	$n$			7	6	6	3

Примечание.  $r$  – выборочный коэффициент корреляции (представлены величины не менее  $|\pm 0.5|$ ) и  $\rho$  – коэффициент ранговой корреляции Спирмена (при величине статистической значимости  $p \leq 0.05$ ) для выборок объемом  $k \geq 4$  [2],  $n$  – число землетрясений, перед которыми проявлялся предвестник с установленным временем проявления.

**Таблица 4.** Оценка связи между проявлениями среднесрочных предвестников по отдельным методам и сильными землетрясениями Камчатки 1987–2004 гг.

	Метод RTL, по [9]	Метод RTL, по [16, 17]	Метод ВСШ, по [10, 12, 13, 14]	Гидрогеохимиче- ские наблюде- ния, по [8, 18, 19]	Гидрогеодина- мические на- блюдения, по [5]	Светодально- мерные наблю- дения, по [4, 11]
Рассматриваемый период наблюдений, годы	1987–2003	1987–1999	1992–2005	1987–2003	1987–1997	1987–1998
$n$	9	4	9	6	5	3
$m$	12	10	12	12	7	8
$s = n/m$	0.75	0.40	0.75	0.50	0.71	0.38
$n'$		4*	7	6	5	3
$m'$		6*	8	9	6	7
$s' = n'/m'$		0.67	0.86	0.67	0.83	0.43

Примечание.  $n$  – число землетрясений, перед которыми проявлялся предвестник,  $m$  – число землетрясений (см. табл. 1) в рассматриваемый период наблюдений,  $n'$  – число землетрясений с величинами  $M/\lg R \geq 3$ , перед которыми проявлялся предвестник,  $m'$  – число землетрясений с величинами  $M/\lg R \geq 3$  в рассматриваемый период наблюдений, \* – количество землетрясений с  $M \geq 7.0$  по [16].

предвестников по отдельным методам и этим параметром. При его использовании обнаруживается обратная зависимость между продолжительностью стабилизации фазы компоненты  $O_1$  в изменениях ВСШ и параметром  $M/\lg R$  (см. рис. 5в), а также отсутствие связи между временем проявления предвестников по данным других трех видов наблюдений и этим параметром (см. рис. 5а, 5б, 5г). Такой результат указывает на то, что использование параметра продолжительности предвестников по отдельным методам  $T$  не позволяет в настоящее время обеспечивать одновременный прогноз магнитуды и удаленности сильных землетрясений по отношению к центру Петропавловского полигона.

Связь предвестников в изменениях наблюдаемых параметров и рассмотренных землетрясений Камчатки (см. табл. 1), произошедших за время наблюдений, характеризуется величинами  $s = 0.38–0.75$  (см. табл. 4). Т.е. предвестники проявлялись перед 38–75% сильных сейсмических событий.

Если рассматривать только наиболее сильные землетрясения, которые происходили относительно недалеко от территории Петропавловского полигона ( $M/\lg R \geq 3$ ,  $R = 110–210$  км) (см. рис. 1), то связь предвестников и землетрясений несколько улучшается ( $s' = 0.43–0.86$ ). Это указы-



вает на то, что наблюдательная сеть, расположенная на территории Петропавловского полигона, ориентирована, в основном, на диагностику предвестников сильных землетрясений в пределах фрагмента Камчатской сейсмофокальной зоны, включающего южную часть Кроноцкого залива, Авачинский залив и Южную Камчатку (примерно  $51^{\circ}$ – $54^{\circ}$  с.ш.).

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Выполнена систематизация предвестников по пяти методам наблюдений для камчатских землетрясений с  $M = 6.6$ – $7.8$ , произошедших в 1987–2004 гг., определен их состав и время проявления.

2. Анализ соотношений между продолжительностью предвестников  $T$  и магнитудами последующих землетрясений указывает на их прямую статистическую связь для режима слабой сейсмичности по параметру  $RTL$  и для понижений уровня воды в скв. Е1. По соотношению времени укорачивания длин линий светодальномерных наблюдений и величин магнитуд трех последующих землетрясений можно говорить лишь о тенденции такой связи (см. рис. 4б). Вместе с тем, не обнаружена связь между временем проявления стабилизации фазы компоненты  $O_1$  в изменениях ВСШ, понижений концентрации хлора в воде скв. ГК-1 и величинами магнитуд последующих землетрясений.

3. В условиях камчатской наблюдательной сети предвестники проявляются по комплексу методов, главным образом, перед землетрясениями с  $M \sim 7$  и более в районах южнее Кроноцкого полуострова ( $M/\lg R \geq 3$ ). Для таких событий обнаружено увеличение показателя связи предвестников по различным методам и землетрясений  $s'$  до  $0.43$ – $0.86$ . Вместе с тем, продолжительность рассмотренных предвестников, а также факт их выявления, не являются в настоящее время надежным основанием для оценки магнитуды последующего сильного землетрясения в районе Петропавловского полигона (в диапазоне магнитуд  $6.6$ – $7.8$ ).

4. Важным условием дальнейшего развития работ по среднесрочному прогнозу камчатских землетрясений является создание открытой базы данных по среднесрочным предвестникам с их подробным описанием по всем используемым методам наблюдений.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бахтияров В.Ф., Левин В.Е. Деформации земной поверхности по данным круглогодичных светодальномерных наблюдений из обсерватории Мишенная, Камчатка, с 1979 по 1985 гг. // Вулканология и сейсмология. 1989. № 2. С. 94–101.
2. Большев Л.Н., Смирнов Н.В. Таблицы математической статистики. М.: Наука, 1965. 464 с.
3. Гордеев Е.И., Салтыков В.А., Серафимова Ю.К. Предвестники камчатских землетрясений (по материалам Камчатского отделения Федерального центра прогнозирования землетрясений, 1998–2004 гг.) // Вулканология и сейсмология. 2006. № 4. С. 3–13.
4. Зобин В.М., Гордеев Е.И., Левина В.И. и др. Камчатское землетрясение 2 марта 1992 г. (магнитуда  $MLH = 7.1$ ) в Авачинском заливе и связанные с ним явления // Вулканология и сейсмология. 1996. № 6. С. 48–61.
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. Копылова Г.Н., Жалыева Ю.К. О работе экспертной группы секции прогноза землетрясений Межведомственного научно-технического экспертного совета при Камчатском центре мониторинга сейсмической и вулканической активности в 1995–1996 гг. // Опыт прогнозирования сейсмической опасности на Камчатке в 1995–1996 гг. (по материалам работы Межведомственного научно-технического экспертного совета при Камчатском центре мониторинга сейсмической и вулканической активности). Петропавловск-Камчатский: КОМСП ГС РАН, 1999. С. 4–21.
7. Копылова Г.Н., Жалыева Ю.К. Прогнозы и предвестники Кроноцкого землетрясения 5 декабря 1997 г. (по материалам работы Межведомственного научно-технического экспертного совета при Камчатском центре мониторинга сейсмической и вулканической активности) // Проблемы сейсмичности Дальнего Востока. Петропавловск-Камчатский: КОМСП ГС РАН, 2000. С. 146–154.
8. Копылова Г.Н., Сугробов В.М., Хаткевич Ю.М. Особенности изменения режима источников и гидрогеологических скважин Петропавловского полигона (Камчатка) под влиянием землетрясений // Вулканология и сейсмология. 1994. № 2. С. 53–70.
9. Кравченко Н.М. Оценка эффективности прогностического параметра  $RTL$  // Вестник КРАУНЦ. Серия науки о Земле. 2005. № 2. Вып. 6. С. 99–107.
10. Кугаенко Ю.А., Салтыков В.А. Сравнение отклика сейсмических шумов на приливы по данным станций Шикотан, Начики, Карымшина // Геофизический мониторинг Камчатки. Петропавловск-Камчатский: Оттиск, 2006. С. 114–121.
11. Левин В.Е., Магуськин М.А., Бахтияров В.Ф. и др. Мультисистемный геодезический мониторинг современных движений земной коры на Камчатке и Командорских островах // Вулканология и сейсмология. 2006. № 3. С. 54–67.
12. Салтыков В.А. Предвестниковые вариации высокочастотного сейсмического шума перед сильными землетрясениями Камчатки 1992–2004 гг. // Солнечно-земные связи и электромагнитные предвестники землетрясений. Петропавловск-Камчатский: ИКИР ДВО РАН, 2004. С. 116–120.
13. Салтыков В.А., Сеницын В.И., Чебров В.Н. Вариации приливной компоненты высокочастотного сейсмического шума в результате изменений на-

- пряженного состояния среды // Вулканология и сейсмология. 1997. № 4. С. 73–83.
14. Салтыков В.А., Сеницын В.И., Чебров В.Н. Использование высокочастотного сейсмического шума для среднесрочного прогноза сильных камчатских землетрясений // Кроноцкое землетрясение на Камчатке 5 декабря 1997 г. Предвестники, особенности, последствия. Петропавловск-Камчатский: Изд-во КГАРФ, 1998. С. 99–105.
  15. Соболев Г.А. Основы прогноза землетрясений. М.: Наука, 1993. 313 с.
  16. Соболев Г.А. Стадии подготовки сильных камчатских землетрясений // Вулканология и сейсмология. 1999. № 4–5. С. 63–72.
  17. Соболев Г.А. Сейсмические свойства внутренней и внешней зоны очага землетрясения // Вулканология и сейсмология. 2003. № 2. С. 3–12.
  18. Хаткевич Ю.М., Рябинин Г.В. Гидродинамические и гидрогазохимические вариации параметров режима подземных вод в периоды подготовки и реализации Кроноцкого землетрясения 05.12.97. // Кроноцкое землетрясение на Камчатке 5 декабря 1997 г. Предвестники, особенности, последствия. Петропавловск-Камчатский: Изд-во КГАРФ, 1998. С. 134–147.
  19. Хаткевич Ю.М., Рябинин Г.В. Гидрогеохимические исследования на Камчатке // Комплексные сейсмологические и геофизические исследования Камчатки. Петропавловск-Камчатский, 2004. С. 96–112.

## **Intermediate-Term Precursors of Large ( $M \geq 6.6$ ) Kamchatka Earthquakes for the Period from 1987 to 2004: A Retrospective Assessment of their Information Content for Prediction**

**Yu. K. Serafimova and G. N. Kopylova**

*Kamchatka Branch, Geophysical Service, Russian Academy of Sciences, Petropavlovsk-Kamchatskii, 683006 Russia*

Data from the literature were used to systematize intermediate-term (with advance times of 1 month to ~2.5 years) precursors to the  $M \geq 6.6$  Kamchatka earthquakes of 1987–2004. The precursors were observed as changes in seismological, geodetic, geophysical, water-level, and hydrochemical parameters. Retrospective assessment of the information content in these intermediate-term precursors for earthquake prediction is in progress. The focus was on estimating the occurrence times of various precursors as functions of earthquake parameters (magnitude  $M$ , hypocentral distance  $R$ , and epicenter location). In the conditions of the Kamchatka observing network, precursors can be identified by a combination of methods, mostly before  $M \sim 7$  earthquakes or greater south of the Kronotskii Peninsula, for which  $M/\lg R \geq 3$ . It is shown that the relative proportion of earthquakes for which precursors have been identified is 0.43–0.86.