

**РЕТРОСПЕКТИВНАЯ ОЦЕНКА СРЕДНЕСРОЧНЫХ ПРЕДВЕСТНИКОВ  
СИЛЬНЫХ ( $M \geq 6.6$ ) ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ КАМЧАТКИ 1987-2007 гг.***Серафимова Ю.К., Копылова Г.Н.**Камчатский филиал Геофизической службы РАН, Петропавловск-Камчатский, yulka@emsd.ru***Введение**

Комплексные геофизические наблюдения с целью поиска предвестников сильных землетрясений на Камчатке проводятся в течение нескольких десятилетий: с 1961 г. ведутся детальные сейсмологические наблюдения, со второй половины 70-х гг. XX в. – светодальномерные, гидрогеохимические, гидрогеодинамические и др. В 90-х гг. XX в. разнообразие видов геофизических наблюдений продолжало увеличиваться, но основное число пунктов наблюдений сосредоточено на территории Петропавловского геодинамического полигона (рис. 1). В настоящее время здесь осуществляются наблюдения за предвестниками землетрясений с использованием примерно 20-ти методов [1].

Оценка сейсмической опасности в форме выдачи долгосрочных, среднесрочных и краткосрочных прогнозов осуществляется специализированными экспертными советами по прогнозу землетрясений на основе результатов комплексного геофизического мониторинга [1, 4, 5].

Наличие многочисленных предвестников, проявляющихся в течение первых лет – месяцев перед сильными землетрясениями Камчатки, указывает на реальность их среднесрочного прогноза, практическая ценность которого состоит в оценке времени возникновения землетрясения с заблаговременностью, позволяющей осуществить необходимые научные и социальные мероприятия в условиях ожидания чрезвычайной ситуации. Среднесрочный прогноз землетрясений строится на базе анализа предвестников в различных полях Земли, время проявления и амплитуда которых связаны эмпирическими зависимостями с магнитудой и местом будущего землетрясения [13]. Вместе с тем, до настоящего времени такие зависимости по отдельным методам либо не установлены, либо ограниченно используются в практике прогнозирования землетрясений.

В работе по литературным данным и опубликованным материалам работы экспертных советов по прогнозу землетрясений проводится ретроспективная оценка информативности среднесрочных предвестников в изменениях ряда сейсмологических, геодезических, геофизических и геохимических параметров для прогноза камчатских землетрясений с  $M \geq 6.6$ , произошедших в 1987-2007 гг. С этой целью проведена систематизация данных о проявлениях предвестников в связи с такими землетрясениями и выполнен анализ зависимости между временем проявления предвестников и параметрами землетрясений: магнитудой  $M$  и интенсивностью сейсмического воздействия  $M/\lg R$ , где  $R$  – гипоцентрального расстояния до г. Петропавловска-Камчатского, км.

**Исходные данные и методика исследования**

В работе рассматриваются предвестники 13-ти землетрясений с  $M = 6.6-7.8$ , произошедших в 1987-2007 гг. и сопровождавшихся ощутимыми сотрясениями на территории Камчатки интенсивностью до 4-7 баллов (рис. 1, табл. 1). В основу работы положены следующие материалы:

1 - публикации по пяти методам наблюдений, в которых представлены результаты за многолетний период и приводится описание выявленных предвестников, а также приводятся оценки времен их проявления для конкретных землетрясений (светодальномерные [2, 9], гидрогеохимические [6, 16, 17], гидрогеодинамические [3], метод RTL [7, 14, 15], метод ВСШ [8, 10, 11, 12]);

2 - публикации, обобщающие результаты работы Межведомственного научно-технического экспертного совета по прогнозу землетрясений и извержений вулканов при Камчатском центре мониторинга сейсмической и вулканической активности [4, 5] и Камчатского отделения Федерального центра прогнозирования землетрясений [1].

В настоящей работе в качестве изучаемого параметра предвестниковых аномалий по различным методам рассматривается их продолжительность  $T$ , которая оценивалась от начала аномалии до момента землетрясения.

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

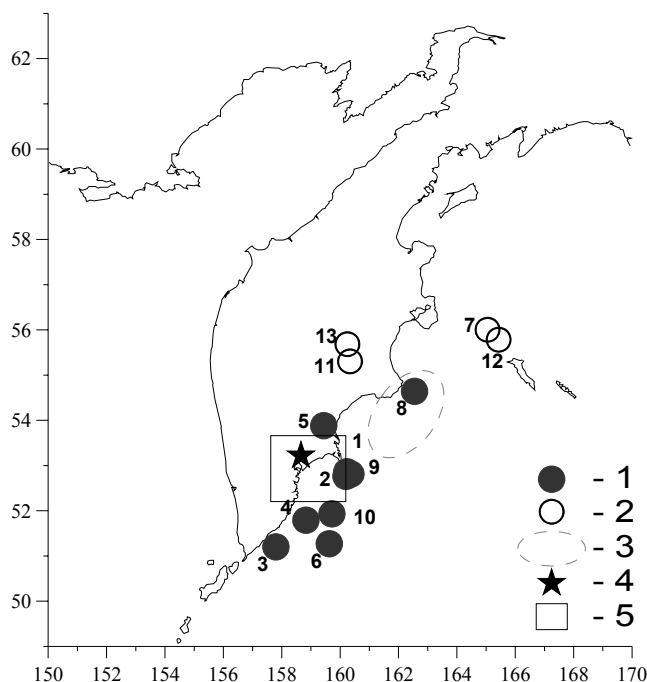


Рис. 1. Карта эпицентров землетрясений с  $M \geq 6.6$  за период 1987-2007 гг.

- 1 – землетрясения с величиной отношения  $M/lgR \geq 3$ ; 2 – землетрясения с величиной отношения  $M/lgR < 3$ ; 3 – очаг Кроноцкого землетрясения 5.12.1997 г.,  $M = 7.8$ ; 4 – г. Петропавловск-Камчатский; 5 – территория Петропавловского полигона.

активизации в области очага будущего землетрясения. В данной работе продолжительность предвестника в режиме слабой сейсмичности оценивается от момента достижения минимума параметра RTL до момента землетрясения и составляет от 5 до 31 мес. [7, 14, 15].

Таблица 1. Параметры землетрясений с  $M \geq 6.6$ , произошедших в 1987-2007 гг. (по данным КФ ГС РАН, ГС РАН, NEIC).

№	Дата ггггммдд	Время ч:мин.:с	Широта, град. с.ш.	Долгота, град. в.д.	Глубина, км	Класс	R, км	M	M/lgR	Баллы по шкале MSK64
1	19871006	20:11:36	52.86	160.23	33	14.1	120	6.6 Ms OBN	3.20	4-5 PЕТ
2	19920302	12:29:39	52.76	160.20	20	14.6	110	6.9 Mw	3.37	5-6 PЕТ
3	19930608	13:03:37	51.20	157.80	40	15.0	210	7.5 Mw	3.23	5 PЕТ
4	19931113	01:18:07	51.79	158.83	40	14.6	140	7.0 Ms OBN	3.26	5-6 PЕТ
5	19960101	09:57:46	53.88	159.44	0	14.3	110	6.9 Ms OBN	3.36	4-5 PЕТ
6	19960621	13:57:06	51.27	159.63	2	13.9	210	7.0 Mw	3.03	3-5 PЕТ
7	19960716	03:48:25	56.00	165.05	40	13.4	540	6.6 Mw	2.42	
8	19971205	11:26:51	54.64	162.55	10	15.5	200*	7.8 Mw	3.39	5-6 PЕТ
9	19980601	05:34:03	52.81	160.37	31	13.8	120	6.9 Mw	3.29	4-5 PЕТ
10	19990308	12:25:43	51.93	159.72	7	14.3	140	7.0 Mw	3.26	4-6 PЕТ
11	20030616	22:08:02	55.30	160.34	190	14.7	340	6.9 Mw	2.73	3-4 PЕТ
12	20031205	21:26:14	55.78	165.43	29	14.8	540	6.7 Mw	2.45	2-3 PЕТ
13	20040610	15:19:55	55.68	160.25	208	14.9	380	6.9 Mw	2.68	3-4 PЕТ

Примечание: \* - расстояние до центра очаговой области.

Метод ВСШ основывается на изучении вариаций фазы компоненты высокочастотного сейсмического шума, связанной с воздействием приливной волны  $O_1$ . Характерным признаком

По данным гидрогеохимических наблюдений в качестве характерного предвестника рассматривается понижение концентрации иона хлора в воде скважины ГК-1 на станции Пиначево. По оценкам авторов продолжительность такого предвестника составляет от 1.5 до 9 мес. [6, 16, 17].

По данным уровнемерных наблюдений на скважине Е-1 в 1987-1998 гг. в качестве предвестника рассматривается понижение уровня воды со скоростью не менее 0.06 см/сут в течение недель – первых месяцев. По оценкам автора, его продолжительность варьирует от 3 до 36 недель [3].

В вариациях прогностического параметра RTL, рассчитанного по каталогу землетрясений с  $13 \geq K \geq 9$  и с глубинами гипоцентров 30-100 км в областях с радиусом до 100 км от эпицентров землетрясений 1-13 (табл. 1), в качестве предвестника рассматривается его бухтообразное изменение. Уменьшение и последующее увеличение параметра RTL указывает на последовательную смену стадий затишья и форшоковой

подготовки сильного землетрясения является стабилизация фазы на одном из уровней в течение не менее трех недель. Для рассматриваемых землетрясений (табл. 1) продолжительность предвестника составляет от 23 до 48 сут. [8, 10, 11, 12].

Для каждого землетрясения (табл. 1) определялся состав и время проявления предвестников по пяти рассматриваемым методам (табл. 2). Затем строились зависимости между временем проявления предвестников по отдельным методам Т и параметрами землетрясений М и М/IgR (рис. 2, 3). Результаты корреляционного анализа зависимостей Т-М и Т-М/IgR приведены в табл. 3.

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

Дата землетрясения, ггггммдд	Продолжительность проявления предвестников по рассматриваемым методам Т					
	Метод RTL, месяцы		Понижение уровня воды в скв. Е-1 [3], недели	Метод ВСШ, пункт Начики [8, 10, 11, 12], сутки	Изменение концентрации хлор-иона в воде скв. ГК-1 станция Пиначево [6, 16, 17], месяцы	Данные светодальномерных наблюдений [2, 9], месяцы
	по [14, 15]	по [7]				
19871006		5	5		6.5-7	8-9
19920302	~ 5	6	9.5	?	9	8-9
19930608	~ 13	10	36	34	1.5	
19931113	~ 12	15	12	?	1.5	
19960101		14	н.д.	28	3	
19960621		11	14	23		
19960716		6				
19971205	~ 31	24	?	~ 35	5-6	~ 24
19980601				25		
19990308		27				
20030616				41		
20031205						
20040610			~ 7	48		

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

### Результаты и обсуждение

Анализ зависимостей Т-М показывает отсутствие связи между магнитудами последующих землетрясений и временами стабилизации фазы компоненты ВСШ и понижений концентрации хлора в воде скважины ГК-1 (рис. 2г, д). Обнаружена прямая линейная зависимость времени проявления предвестников Т от магнитуды последующего землетрясения в режиме слабой сейсмичности по параметру RTL (рис. 2а), а также для "тревожного признака" в изменениях уровня воды в скважине Е-1 (рис. 2в) и укорачивания длин линий светодальномерных наблюдений (рис. 2б).

Анализ зависимостей Т-М/IgR выявил обратную зависимость между продолжительностью стабилизации фазы компоненты ВСШ и параметром М/IgR (рис. 3в), а также отсутствие связи между этим параметром и продолжительностью проявления предвестников по данным других видов наблюдений (рис. 3а, б, г).

Таблица 3. Корреляционный анализ зависимости времени проявления предвестников Т от параметров землетрясений М и М/IgR.

		Метод RTL по [7]	Метод RTL по [14, 15]	Метод ВСШ по [8, 10, 11, 12]	Гидрогеохимические наблюдения по [6, 16, 17]	Гидрогеодинамические наблюдения по [3]	Светодальномерные наблюдения по [2, 9]
<b>М</b>	г	<b>0.56</b>	<b>0.89</b>	0.04	-0.30	<b>0.95</b>	<b>0.97</b>
	n	9	4	7	6	6	3
<b>М/IgR</b>	г			<b>-0.67</b>	0.31	0.24	0.6
	n			7	6	6	3

Примечание: г – выборочный коэффициент корреляции (прямым жирным шрифтом выделены величины г, значимые при доверительной вероятности  $\geq 90\%$ , жирным курсивом – при 80%-ной доверительной вероятности), n – число землетрясений, перед которыми проявлялся предвестник с установленным временем проявления.

### Выводы

1. Выполнена систематизация предвестников по пяти методам наблюдений для камчатских землетрясений с  $M = 6.6-7.8$  за период 1987 – 2007 гг., определен их состав и времена проявления.

2. Анализ зависимости между временем проявления предвестников и параметрами землетрясений ( $M$ ,  $M/\lg R$ ) показывает\*:

- отсутствие связи между магнитудами последующих землетрясений и временами проявления стабилизации фазы компоненты ВСШ и понижений концентрации хлора;

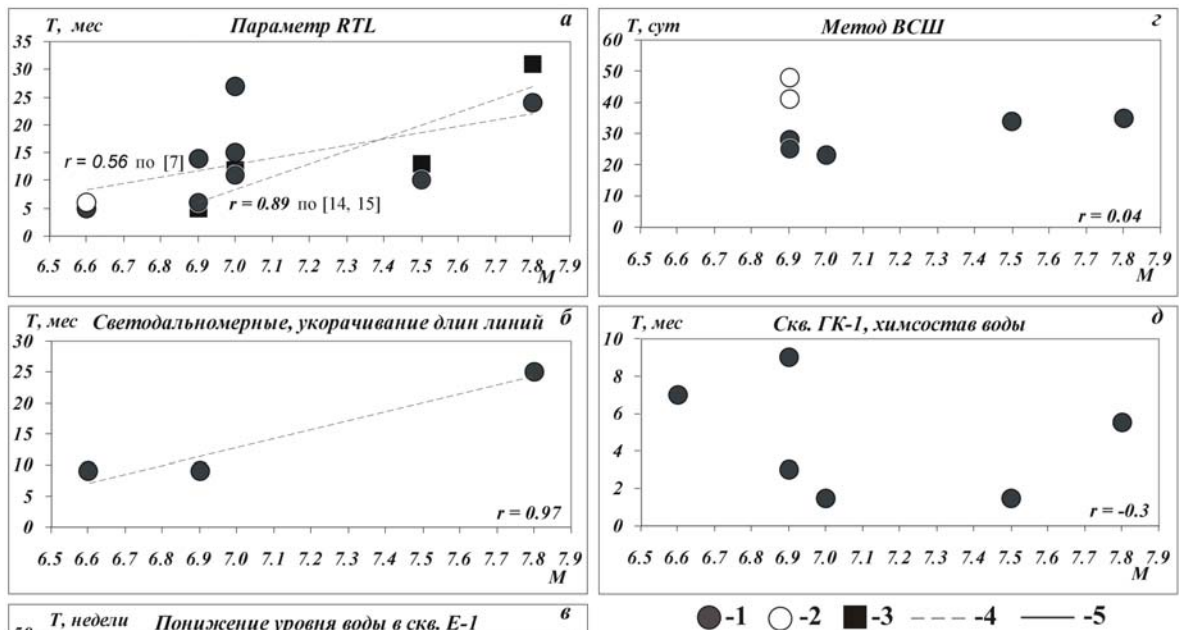


Рис. 2. Зависимость времени проявления предвестников по отдельным методам  $T$  от магнитуды землетрясений  $M$ . Условные обозначения: 1 – землетрясения с величиной отношения  $M/\lg R \geq 3$ ; 2 – землетрясения с  $M/\lg R < 3$ ; 3 – землетрясения с  $M \geq 7$  (по [14, 15]); 4 – линия регрессии при 80%-ной доверительной вероятности  $r$ ; 5 – то же при доверительной вероятности  $r \geq 90\%$ .

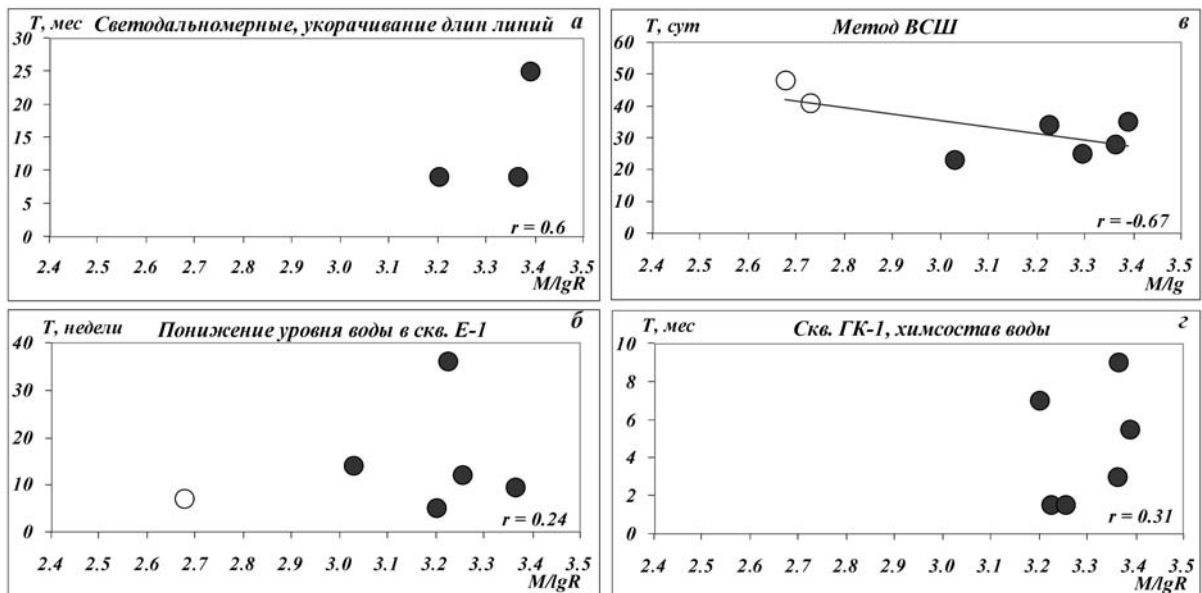


Рис. 3. Зависимость времени проявления аномалий-предвестников по отдельным методам ( $T$ ) от интенсивности сейсмического воздействия  $M/\lg R$ . Условные обозначения см. рис. 2.

- прямую линейную зависимость времени проявления предвестника  $T$  в режиме слабой сейсмичности по параметру RTL, "тревожного признака" в изменениях уровня воды в скважине

\* Использованный здесь параметр  $M/\lg R$  не основан на физической модели или эмпирических фактах, то есть является умозрительным. – Прим. ред.

Е-1 и бухтообразного укорачивания длин линий светодальномерных наблюдений от магнитуды последующего землетрясения;

- обнаружена обратная линейная зависимость продолжительности стабилизации фазы компоненты ВСШ от величины  $M/IgR$ .

3. Результаты работы показывают, что продолжительность рассмотренных предвестников, а также факт их выявления не являются основанием для оценки магнитуды последующего землетрясения (в диапазоне магнитуд 6.6-7.8). 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 ( $M/IgR > 3$ ).

### Список литературы

1. 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.
2. Зобин В.М., Гордеев Е.И., Левина В.И. и др. Камчатское землетрясение 2 марта 1992 г. (магнитуда  $M_LH = 7.1$ ) в Авачинском заливе и связанные с ним явления // Вулканология и сейсмология. 1996. №6. С. 48-61.
3. 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.
4. 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.
5. 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. Матер. конф. 6-9 апреля 1999 г., г. Петропавловск-Камчатский. Петропавловск-Камчатский: КОМСП ГС РАН, 2000. С. 146-154.
6. 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.
7. Кравченко Н.М. Оценка эффективности прогностического параметра  $RTL$  // Вестник КРАУНЦ. Серия науки о Земле. 2005. №2. Вып. №6. С. 99-107.
8. Кугаенко Ю.А., Салтыков В.А. Сравнение отклика сейсмических шумов на приливы по данным станций "Шикотан", "Начики", "Карымшина" // Геофизический мониторинг Камчатки. Матер. научно-техн. конф. 17-18 января 2006 г., г. Петропавловск-Камчатский. Петропавловск-Камчатский: "Оттиск", 2006. С. 114-121.
9. Левин В.Е., Магуськин М.А., Бахтиаров В.Ф. и др. Мультисистемный геодезический мониторинг современных движений земной коры на Камчатке и Командорских островах // Вулканология и сейсмология. 2006. №3. С. 54-67.
10. Салтыков В.А. Предвестниковые вариации высокочастотного сейсмического шума перед сильными землетрясениями Камчатки 1992-2004 гг. // Сб. докл. III Междунар. конф. "Солнечно-земные связи и электромагнитные предвестники землетрясений", с. Паратунка, Камчатская область, 16-21 августа 2004 г. Петропавловск-Камчатский: ИКИР ДВО РАН, 2004. С. 116-120.
11. 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.
12. 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. Петропавловск-Камчатский: Изд-во КГАРФ, 1998. С. 99-105.
13. Соболев Г.А. Основы прогноза землетрясений. М.: Наука, 1993. 313 с.
14. Соболев Г.А. Стадии подготовки сильных камчатских землетрясений // Вулканология и сейсмология. 1999. № 4-5. С. 63-72.
15. Соболев Г.А. Сейсмические свойства внутренней и внешней зоны очага землетрясения // Вулканология и сейсмология. 2003. № 2. С. 3-12.
16. 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. Петропавловск-Камчатский: Изд-во КГАРФ, 1998. С. 134-147.
17. Хаткевич Ю.М., Рябинин Г.В. Гидрогеохимические исследования на Камчатке // Комплексные сейсмологические и геофизические исследования Камчатки. Петропавловск-Камчатский, 2004. С. 96-112.