



РАЗРАБОТКА ИНФОРМАЦИОННОГО, НАУЧНОГО И МЕТОДИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЙ СРЕДНЕСРОЧНОГО ПРОГНОЗА И ОПЕРАТИВНОГО КОНТРОЛЯ ПОТЕНЦИАЛЬНЫХ ОЧАГОВ СИЛЬНЫХ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ В КАМЧАТСКОМ СЕЙСМОАКТИВНОМ РЕГИОНЕ

*Чебров В.Н.¹, Абубакиров И.Р.¹, Гаврилов В.А.³, Завьялов А.Д.², Копылова Г.Н.¹, Салтыков В.А.¹,
Серафимова Ю.К.¹, Соболев Г.А.², Сероветников С.С.¹, Титков Н.Н.¹, Фирстов П.П.¹*

- 1. Камчатский филиал ГС РАН*
- 2. Институт физики Земли РАН*
- 3. Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН*

Проблемы комплексного геофизического мониторинга Дальнего Востока России

**30 сентября - 4 октября 2013 г.
г. Петропавловск-Камчатский**

Работа выполняется в рамках ФЦП «Снижение рисков ... до 2015 года»

Мероприятие

«Разработка эффективных технологий среднесрочного прогноза и оперативного контроля за потенциальными очагами сильных землетрясений»

Государственный контракт № 74-ОК/11-7 от 16 ноября 2011 г.

Исполнитель: *Геофизическая служба РАН, Камчатский филиал (www.emsd.ru),*
(ответственный исполнитель: к. т. н. В.Н. Чебров)

Соисполнители: *Институт физики Земли им. О.Ю. Шмидта, РАН, г. Москва;*
Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН,
г. Петропавловск-Камчатский

Сроки НИР: 2011 – 2015 гг.

Целью работы является формирование комплекса методов среднесрочного прогноза и оперативного контроля потенциальных очагов сильных землетрясений в Камчатском сейсмоактивном регионе и их внедрение в сейсмоопасных районах России для информационного обеспечения работы Российского экспертного совета по прогнозу землетрясений, оценке сейсмической опасности и риска (РЭС).

Для достижения указанной цели решаются следующие задачи:

Техническое и информационное развитие имеющихся методов среднесрочного прогноза применительно к землетрясениям Камчатки с магнитудами $M \geq 6$.

Создание новых методов среднесрочного прогноза на основе изучения и комплексирования данных о сейсмических, деформационных, геофизических полях и предвестниках.

Усовершенствование методик и алгоритмов для вероятностной оценки параметров ожидаемого сильного землетрясения на основе данных по отдельным методам и комплексу методов.

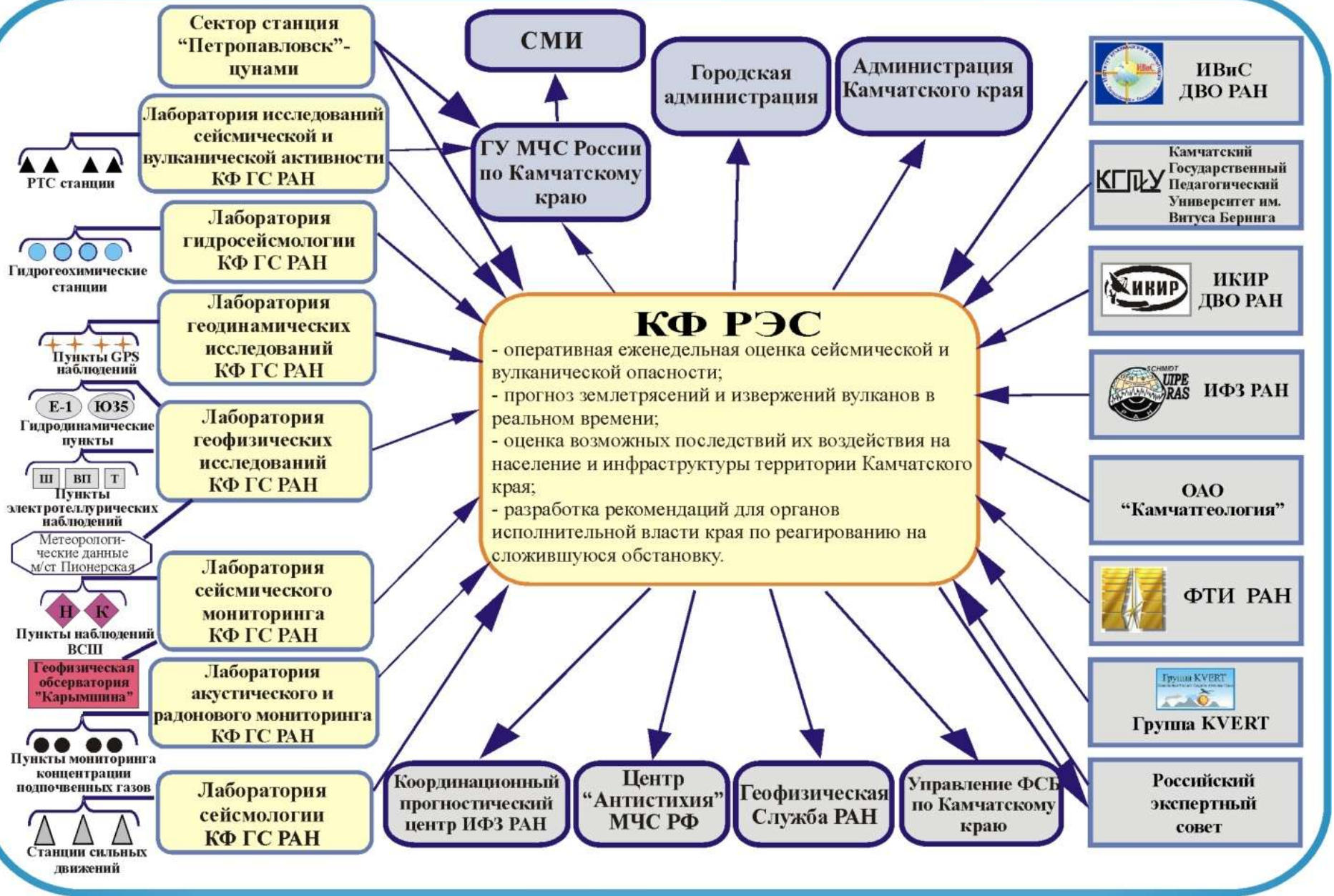
Экспериментальные работы по опробованию эффективных технологий среднесрочного прогноза и контроля потенциальных очагов сильных землетрясений в Камчатском крае.

Основные результаты 2011-2013 гг.

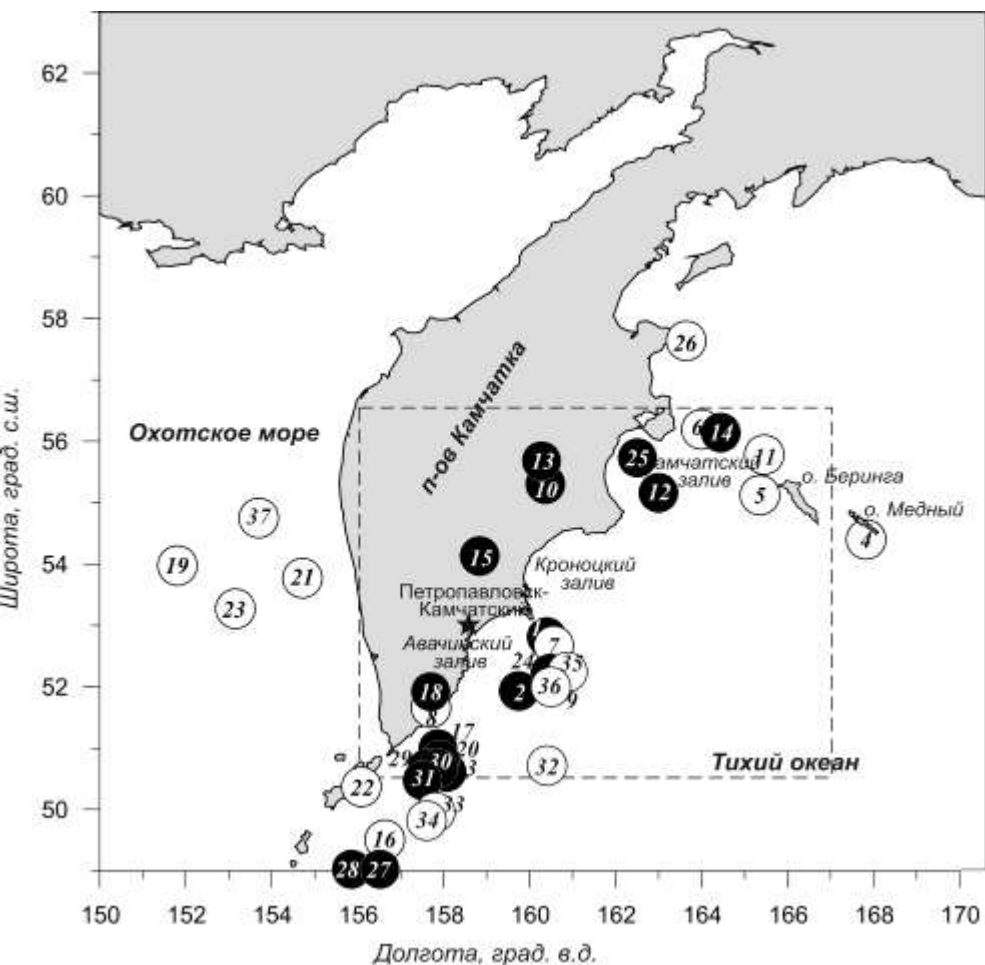
Рассмотрены вопросы комплексного геофизического мониторинга на территории Камчатки и опыт прогнозирования сильных землетрясений специализированными Советами.

Современная система комплексного мониторинга геодинамических процессов в сочетании с высокой повторяемостью природных катастроф на Камчатке дают уникальные возможности для проведения здесь исследований в области прогноза сильных землетрясений.

Результаты комплексных сейсмологических, геофизических, геодезических, гидрогеохимических и других наблюдений на Камчатке дают возможность исследовать процессы подготовки сильных землетрясений, строить модели сейсмического процесса, выявлять и исследовать предвестники сильных землетрясений.



Опыт изучения комплекса сейсмологических, гидрогеодинамических, гидрогеохимических, акустических, электромагнитных и др. видов предвестников показывает их приуроченность к заключительным стадиям подготовки сильных камчатских землетрясений.



На рис. можно выделить две зоны. Зона 1 приурочена к восточному побережью Камчатки. В этой зоне для 16 землетрясений из 25, т.е. для 67% событий, были даны оправдавшиеся прогнозы либо выявлены предвестники в реальном времени. При этом следует отметить, что землетрясения №№ 16, 22, 33 и 34, для которых не были выявлены предвестники, не соответствуют сейсмоактивной области Камчатки (пунктирная линия).

В зоне, ориентированной вдоль направления структур Алеутской дуги, включая Командорские острова, где наблюдательные сети, кроме сейсмологической и GPS, либо отсутствуют, либо их уровень существенно ниже, чем в районе Петропавловского геодинамического полигона, только для одного из пяти событий были даны прогнозы.

Таким образом, максимальная эффективность использования методик прогноза в реальном времени соответствует наиболее

опасному участку восточного побережья Камчатки, для которого в 36% были сделаны оправдавшиеся прогнозы землетрясений.

При этом все еще остается высоким процент ложных тревог.

Фрагмент таблицы

Методики, по которым выявлены среднесрочные предвестники перед сильными ($M \geq 6.0$) камчатскими землетрясениями 1998-2013 гг.

| № | Дата ггггммдд, M_w , Н, км | Координаты | | R, км до ПТР | Методики, участвующие в оценке сейсмической ситуации | Успешный прогноз | "Частично оправдавшийся" прогноз |
|----|------------------------------------|---------------------|---------------------|-----------------|--|----------------------------|--|
| | | φ° , N | λ° , E | | | | |
| 1 | 19980601, $M_w=6.4$, Н=31 | 52.81 | 160.3 7 | 120 | M6, CODA, HFSN, WLO, HGCH | HGCH (от 21.05.1998 г.) | |
| 2 | 19990308, $M_w=6.9$, Н=7 | 51.93 | 159.7 2 | 140 | M6, CODA, Z-test, HFSN, HGCH | | Z-test (от 01.06.1998 г.) |
| 3 | 19990918, $M_w=6.0$, Н=40 | 50.99 | 157.8 4 | 230 | M6, CODA, Z-test, HFSN, HGCH | HFSN (от 16.09.1999 г.) | HGCH (от 13.08.1999 г.) |
| 4 | 19990928, $M_w=6.1$, Н=40 | 54.40 | 168.5 2 | 625 | M6, CODA, Z-test | - | - |
| 5 | 19991126, $M_w=6.0$, Н=39 | 55.12 | 165.3 2 | 500 | M6, CODA, Z-test | - | - |
| 6 | 20010802, $M_w=6.3$, Н=25 | 56.21 | 164.0 5 | 500 | CODA, RTL, Z-test | - | - |
| 7 | 20011008, $M_w=6.5$, Н=31 | 52.62 | 160.4 6 | 130 | CODA, RTL, Z-test, HFSN, HGCH | - | - |
| 8 | 20021016, $M_w=6.2$, Н=108 | 51.66 | 157.6 8 | 160 | M6, CODA, RTL, Z-test, HFSN, HGCH | - | - |
| 9 | 20030315, $M_w=6.1$, Н=4 | 52.15 | 160.6 6 | 170 | M6, CODA, RTL, Z-test, HFSN, WLO, HGCH | | HFSN (от 10.01.2003 г. по п. Карымшина и от 05.02.2003 по п. Начики) |
| 10 | 20030616, $M_w=6.9$, Н=190 | 55.30 | 160.3 4 | 280 | M6, CODA, HFSN | | HFSN (от 30.05.2003 г.) |
| 11 | 20031205, $M_w=6.7$, Н=29 | 55.78 | 165.4 3 | 540 | M6, CODA, RTL, Z-test | - | - |
| 12 | 20040414, $M_w=6.2$, Н=48 | 55.16 | 162.9 7 | 370 | M6, CODA, RTL, Z-test | | RTL (от 24.10.2003 – 19.01.2007 гг.) Z-test (от 05.03.2004 г.) |

| | | | | | | | |
|----|--|-------|--------|-----|---|--|--|
| 13 | 20040610, M _w =6.9, H=208 | 55.68 | 160.25 | 320 | M6, CODA, HFSN, WLO | | HFSN (от 13.05.2004 г.) WLO (от 21.05.2004 г.) M6 (от 06.11.2003 г.) |
| 14 | 20060412, M _w =6.0, H=1 | 56.14 | 164.42 | 510 | M6, CODA, RTL, Z-test, DT, GAE | GAE (от 23.03.2006 г., 30.03.2006 г. и 07.04.2006 г.) DT(от 12.02.2006 г.) | |
| 15 | 20060522, M _w =6.2, H=213 | 54.13 | 158.81 | 130 | M6, CODA, DT, HFSN, WLO, GAE | WLO (от 20.04.2006 г.) | GAE (от 21.04.2006 г., 28.04.2006 г.) |
| 16 | 20060820, M _w =6.0, H=37 | 49.49 | 156.60 | 410 | M6, CODA, DT, GAE | - | - |
| 17 | 20060824, M _w =6.5, H=38 | 50.75 | 157.97 | 250 | M6, CODA, RTL, Z-test, DT, HFSN, HGCH, GAE | HFSN (от 04.07.2006 г., 04.08.2006 г., 18.08.2006 г.) | Z-test (от 11.08. 2006 г.) |
| 18 | 20070530, M _w =6.4, H=129 | 51.92 | 157.67 | 140 | M6, CODA, RTL, Z-test, DT, HFSN, WLO, HGCH | | Z-test (от 19.01.2007 г.) |
| 19 | 20080705, M _w =7.7, H=665 | 53.98 | 151.74 | 470 | M6, CODA, DT | - | - |
| 20 | 20080724, M _w =6.2, H=40 | 50.61 | 158.04 | 270 | M6, CODA, RTL, Z-test, DT, HFSN, WLO, HGCH, GAE | | Z-test (от 25.01.2008 г. и от 29.05.2008 г.) RTL (от 30.05.2008 г.) |
| 21 | 20081124, M _w =7.3, H=564 | 53.77 | 154.69 | 270 | M6, CODA, DT | - | - |
| 22 | 20090421, M _w =6.2, H=179 | 50.37 | 156.06 | 340 | M6, CODA, DT, HFSN, WLO, GAE | - | - |
| 23 | 20091210, M _w =6.3, H=597 | 53.27 | 153.13 | 370 | M6, CODA, DT | - | - |
| 24 | 20100730, M _w =6.3, H=38 | 52.22 | 160.46 | 150 | M6, CODA, RTL, Z-test, DT, HFSN, WLO, HGCH, GAE | Z-test (от 28.06.2010 г.) | HFSN (от 09.06.2010 г.) DT (от 12.03.2010 г.) ? RTL (от 20.03.2009 г.) |

| | | | | | | | |
|----|---|-------|--------|-----|--|---|---|
| 25 | 20110220, M _w =6.1, H=48 | 55.73 | 162.48 | 390 | M6, CODA, RTL, Z-test, DT, GAE | Z-test (от 03.12.2010 г.) | RTL (от 06.11.2009 г.) |
| 26 | 20120624, M _w =6.0, H=67 | 57.59 | 163.56 | 600 | M6, CODA, RTL, Z-test, DT | - | - |
| 27 | 20120720, M _w =6.0, H=53 | 49.02 | 156.56 | 465 | M6, CODA, RTL, Z-test, DT, GAE | - | DT (от 12.03.2010 г.) GAE (от 13.07.2012 г. как продление прогноза от 13.01.2012 г.) |
| 28 | 20121116, M _w =6.5, H=68 | 49.02 | 155.90 | 480 | M6, CODA, RTL, Z-test, DT, GAE | DT (от 12.03.2010 г., уточнение от 02.09.2012 г.) | - |
| 29 | 20130228 M _w =6.9, H=61 | 50.67 | 157.77 | 265 | M6, CODA, RTL, Z-test, DT, HFSN, WLO, GAE | WLO (от 01.02.2013 г.) | DT (от 12.03.2010 г.), GAE (от 27.12.2012 г., продление 11.01.2013 г., продление 25.01.2013 г., уточнение 04.02.2013 г. |
| 30 | 20130301 M _w =6.4, H=52 | 50.63 | 157.94 | 267 | | | |
| 31 | 20130301 M _w =6.5, H=62 | 50.64 | 157.90 | 267 | | | |
| 32 | 20130324 M _w =5.9, H=42 | 50.68 | 160.35 | 284 | M6, CODA, RTL, Z-test, DT, HFSN, WLO, GAE | | |
| 33 | 20130419 M _w =6.1, H=84 | 49.92 | 157.82 | 347 | M6, CODA, RTL, Z-test, DT, HFSN, WLO, GAE | | |
| 34 | 20130420 M _w =6.1, H=76 | 49.89 | 157.64 | 352 | | | |
| 35 | 20130521 M _w =6.0, H=59 | 52.22 | 160.89 | 177 | M6, CODA, RTL, Z-test, DT, HFSN, WLO, GAE | | |
| 36 | 20130521 M _w =6.1, H=48 | 52.05 | 160.49 | 166 | | | |
| 37 | 20130524 M _w =8.3, H=630 | 54.76 | 153.79 | 371 | M6, CODA, RTL, Z-test, DT, HFSN, WLO, GAE | | DT (от 12.03.2010 г.)? |

Рассмотрено современное состояние действующих и перспективных методов среднесрочного прогноза сильных землетрясений, в т. ч. их научные и экспериментальные основы, методика работ и информационное обеспечение, получаемая сейсмопрогностическая информация и ее использование.

Выполнен анализ современного состояния комплекса методов сейсмического прогноза, используемых в Камчатском сейсмоактивном регионе, включающих:

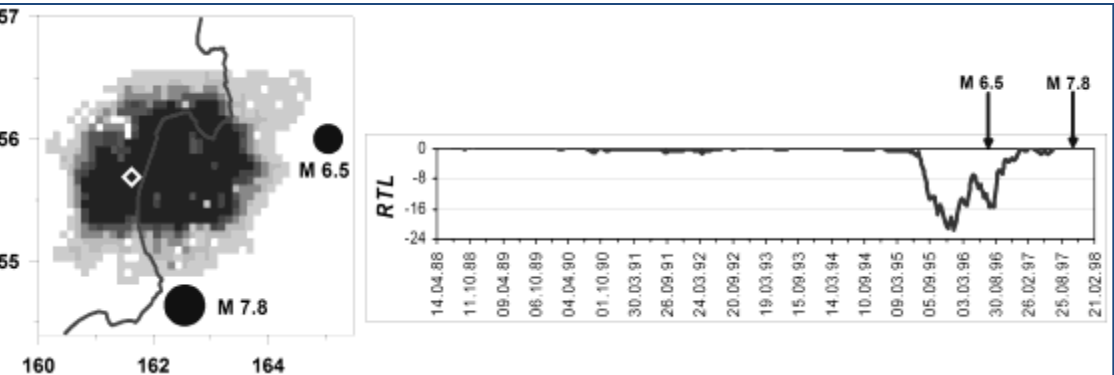
- метод «регион-время-размер очага» (RTL);
- метод «карта ожидаемых землетрясений (КОЗ»);
- метод низкочастотного сейсмического шума (НЧСШ);
- метод механизма глубоких землетрясений (МГЗ);
- комплексный мониторинг параметров сейсмичности Камчатки;
- мониторинг вариаций скорости спада амплитуд огибающей коды слабых землетрясений;
- мониторинг скорости сеймотектонического движения;
- мониторинг вариаций уровня воды в скважинах;
- мониторинг вариаций параметров приливной компоненты высокочастотного сейсмического шума (ВСШ);
- комплексные скважинные геофизические измерения;
- электромагнитные измерения с наземными антеннами;
- электротеллурические наблюдения;
- гидрогеохимические наблюдения на скважинах и источниках;
- мониторинг подпочвенного радона и водорода;
- геодезический метод динамики деформаций (ДД).

Рассмотренные методы мониторинга и различные виды измерений геофизических параметров полей Земли весьма неоднозначны с точки зрения эффективности их применения в системе среднесрочного прогноза землетрясений.

Основной задачей развития геофизических и геохимических методов является обеспечение их непрерывного функционирования, поддержания пополняемых баз данных и регулярной обработки данных с использованием современных программных средств для выделения сейсмопрогностической информации.

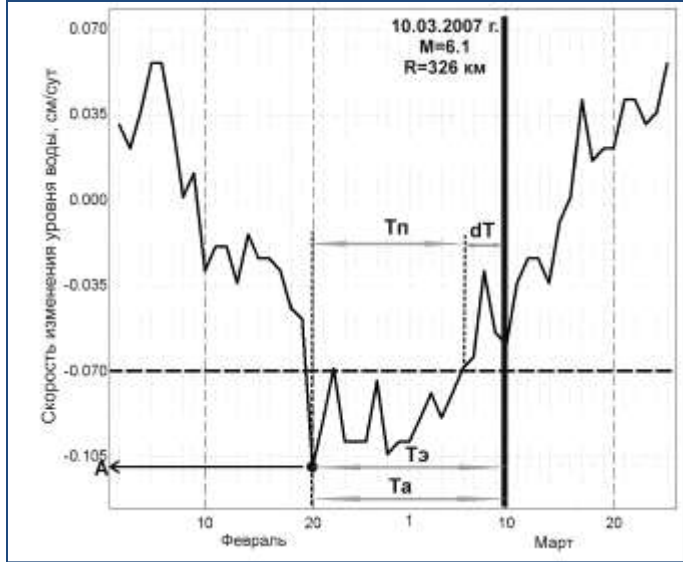
Сформулированы технические предложения по развитию отдельных сейсмологических, геофизических, геохимических и геодезических методов. С использованием результатов ретроспективной обработки данных за многолетний период и результатов прогнозирования землетрясений в реальном времени для некоторых из рассмотренных методов сделаны предварительные количественные оценки параметров их информативности для среднесрочного прогноза землетрясений.

1. Выполнен ретроспективный анализ сейсмопрогностической информативности функционирующих на Камчатке методов среднесрочного прогноза сильных землетрясений с использованием унифицированного набора параметров.



Аномалия сейсмического затишья, выделенная по параметру *RTL* перед землетрясениями 16.07.1996 г. ($M=6.5$) и 05.12.1997 г. ($M=7.8$)

Сейсмологический метод «Мониторинг параметра *RTL*»:
надежность метода для прогноза землетрясений с $M \geq 6.0$ $P=0.47$, землетрясений с $M \geq 6.8$ $P=1.0$;
заблаговременность проявления аномалии до землетрясения $T_a = 1$ мес. - 2 года



Геофизический метод «Мониторинг вариаций уровня воды в скважинах»:
надежность метода для прогноза землетрясений с $M \geq 6.0$ $P=0.73$;
эффективность метода $I=2.2$;
заблаговременность проявления аномалии до землетрясения $T_a = 10-127$ сут

Гидрогеодинамический предвестник в изменениях уровня воды и его параметры: T_n – продолжительность, T_a – заблаговременность, A – экстремальная амплитуда, T_z – время от проявления экстремальной амплитуды до землетрясения, dT – время от окончания предвестника до землетрясения. Пунктирной линией показано пороговое значение скорости понижения уровня воды -0.07 см/сут

Оценка ретроспективной прогностической эффективности гидрогеохимических предвестников**Всего за рассматриваемое время с 1985 по 2012 гг. произошло****31 землетрясение с магнитудой $M_s \geq 6$. Наибольшее количество гидрогеохимических предвестников фиксировалось перед землетрясениями 02.03.1992 г., 01.01.1996 г. и 05.12.1997 г.****Относительная частота проявления гидрогеохимических предвестников (P) невысока и составляет в среднем 0.13 (13%).****Величина прогностической эффективности (I) варьирует в от 2.2 до 11.2 для различных показателей.****Эффективность оценивалась по формуле**

$$P/(Ta_{tot}/T_{tot})$$

где: $P = N_{PR}/N_{EQ}$ – относительная частота появления гидрогеохимического предвестника перед землетрясениями, Ta_{tot} – суммарное время тревоги, **T_{tot} – общее время наблюдений.**

| Скважина | Компонент | N_{EQ} | N_{PR} | T_{tot} сут. | Ta_{tot} сут. | P | Ta_{tot}/T_{tot} | I |
|-----------------|---------------------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------------|-----------------------------------|-----------------------|--------------------------------------|-----------------------|
| ГК-1 | Cl-ион | 31 | 4 | 9855 | 184 | 0.13 | 0.01867 | 6.9 |
| ГК-1 | Na-ион | 31 | 4 | 9855 | 580 | 0.13 | 0.05885 | 2.2 |
| ГК-1 | HCO₃-ион | 31 | 3 | 9855 | 222 | 0.10 | 0.02253 | 4.3 |
| ГК-1 | C₄H₁₀i f | 31 | 3 | 6841 | 172 | 0.10 | 0.02514 | 3.8 |
| ГК-1 | He s | 31 | 4 | 9855 | 114 | 0.13 | 0.01157 | 11.2 |
| ГК-1 | C₄H₁₀i s | 31 | 3 | 6775 | 213 | 0.10 | 0.03144 | 3.1 |
| №1 | HCO₃-ион | 30 | 5 | 9489 | 246 | 0.17 | 0.02592 | 6.4 |
| №1 | Ca-ион | 30 | 6 | 8394 | 351 | 0.20 | 0.04182 | 4.8 |
| №1 | Na-ион | 30 | 5 | 9489 | 244 | 0.17 | 0.02571 | 6.5 |
| №1 | C₄H₁₀i s | 30 | 4 | 7266 | 213 | 0.13 | 0.02931 | 4.5 |
| ГК-15 | HCO₃-ион | 29 | 3 | 9484 | 437 | 0.10 | 0.04608 | 2.2 |
| ГК-15 | Cl-ион | 29 | 4 | 9474 | 459 | 0.14 | 0.04845 | 2.8 |
| ГК-15 | Ca-ион | 29 | 4 | 9102 | 465 | 0.14 | 0.05109 | 2.7 |

Эффективность J прогнозов землетрясений в реальном времени [Чебров и др. 2011]

по материалам КФ РЭС по А.А. Гусеву.

| № | Метод | Автор, Организация | Эффективность J |
|----|---|--|---|
| 1 | Комплексное заключение ИКИР ДВО РАН | ИКИР ДВО РАН | 1.0 (1999-2009 гг.) |
| 2 | ОНЧ-излучение | Дружин Г.И., ИКИР ДВО РАН | 1.7 (1998-2009 гг.) |
| 3 | Вариации ГМП, АЭП приземного слоя атмосферы | Смирнов С.Э., ИКИР ДВО РАН | 1.4 (1998-2009 гг.) |
| 4 | Вертикальное зондирование ионосферы | Богданов В.В., ИКИР ДВО РАН | 0.0 (1998-2009 гг.) |
| 5 | Скважинные геоакустические наблюдения | Гаврилов В.А., ИВиС ДВО РАН | 1.0 (2003-2008 гг.) |
| 6 | ВСШ | Салтыков В.А., КФ ГС РАН | 0.8 (1998-2005 гг.), 1.3 (2006-2009 гг.) |
| 7 | Скважинные гидрогеодинамические наблюдения | Копылова Г.Н., КФ ГС РАН | 1.1 (2003-2008 гг.) |
| 8 | ГГД-мониторинг | Смолина Н.Н., ОАО "Камчатгеология" | 1.1 (2003-2009 гг.) |
| 9 | Астрофизический | Лездиньш А.Я. частное лицо | 1.7 (2001-2009 гг.) |
| 10 | Алгоритм М6 | Широков В.А., ИВиС ДВО РАН, КФ ГС РАН | 0.6 (1998-2009 гг.) |
| 11 | РВС | Широков В.А., Фирстов П.П., ИВГиГ ДВО РАН | 1.0 (2000-2002 гг.) |
| 12 | Энтропийная модель сейсмического процесса | Сигбатулин В.Г., ЭЦ "РОПР" (Красноярск) | 0.0 (2005-2008 гг.) |
| 13 | Измерение ОА ^{222}Rn | Фирстов П.П., ИВиС ДВО РАН, КФ ГС РАН | 1.1 (1998-2009 гг.) |

2012 г.

- Выполнены работы по адаптации новых перспективных методов среднесрочного сейсмического прогноза (МФС – мульти-фрактальной синхронизации и НЧСШ - низкочастотного сейсмического шума, ИФЗ РАН) к условиям Камчатского региона на основе использования данных регистрации сейсмических шумов на сети широкополосных сейсмических станций КФ ГС РАН.

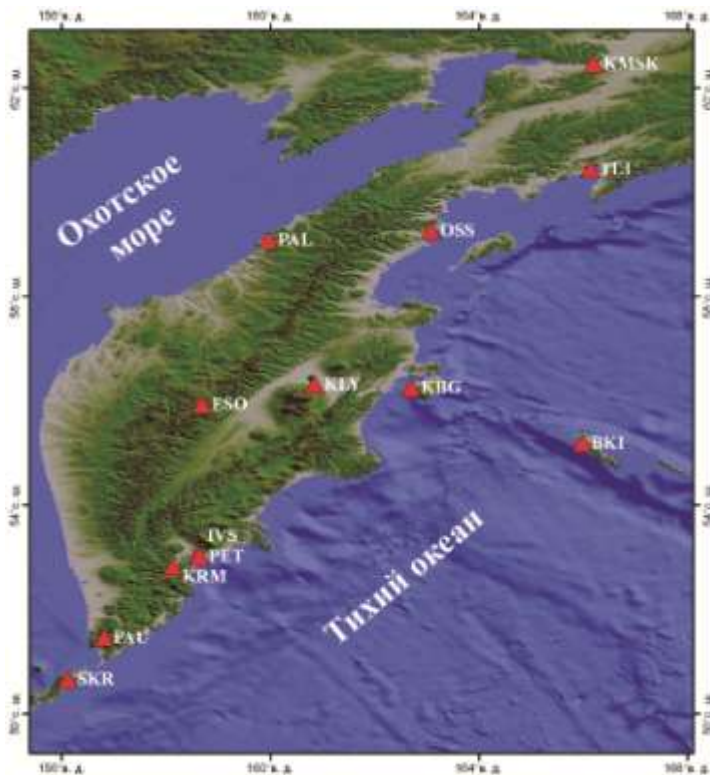
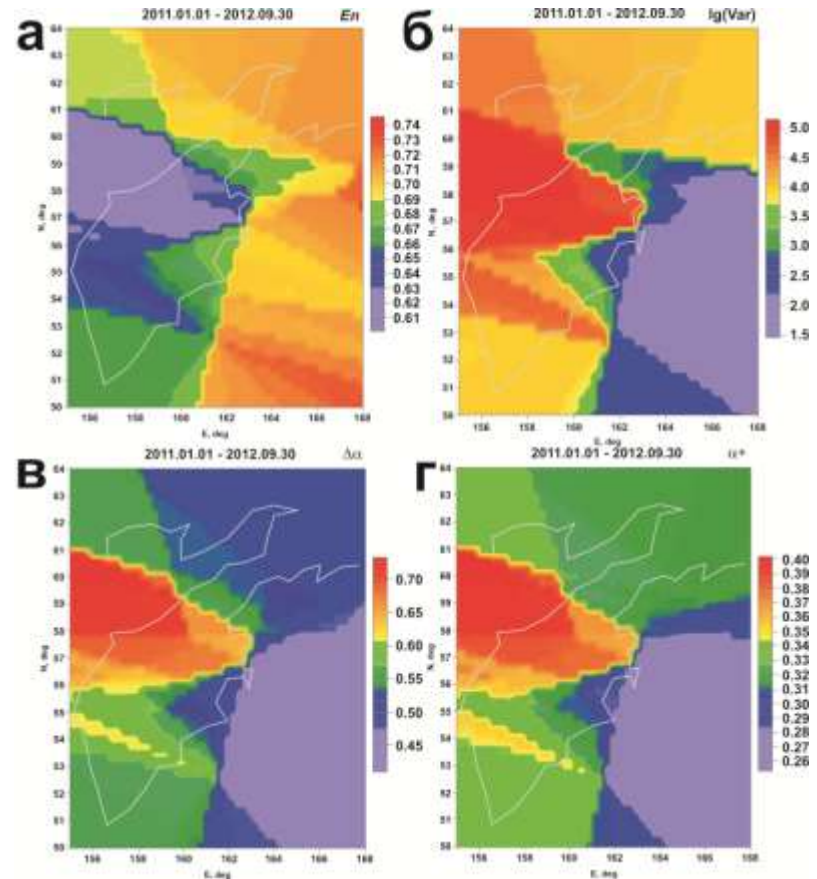


Схема расположения широкополосных сейсмических станций Камчатской сети



Схемы пространственного распределения сейсмопрогностических статистик сейсмического шума для периода наблюдений 01.01.2011 - 30.09.2012 гг.

Разработана структура БД



Информационные блоки в составе базы сейсмопрогностических данных и их функциональные связи с компонентами ИОЦ ГС РАН и Специализированными советами по прогнозу землетрясений

Блок схема функционирования технологий среднесрочного прогноза сильных землетрясений (на примере Камчатского региона)



Разработана концепция функционирования технологий среднесрочного сейсмического прогноза и контроля потенциальных очагов сильных землетрясений (на примере Камчатского региона).

Для ее реализации необходимо:

- обеспечить непрерывность функционирования системы сбора и обработки данных наблюдений за параметрами полей Земли;**
- формализовать алгоритмы выделения предвестников землетрясений, выработки среднесрочных прогнозов землетрясений и их вероятностной оценки;**
- создать базы данных о среднесрочных предвестниках землетрясений и обеспечить динамическую оценку их по результатам прогнозирования землетрясений в реальном времени;**
- создать базу знаний о прогнозах и предвестниках сильных землетрясений с экспертной системой, обеспечивающей среднесрочные вероятностные оценки времени и места возникновения землетрясений с магнитудами $M \geq 6$.**

Опыт прогноза КФ РЭС землетрясения с $M = 6 - 7$ в районе южной Камчатки

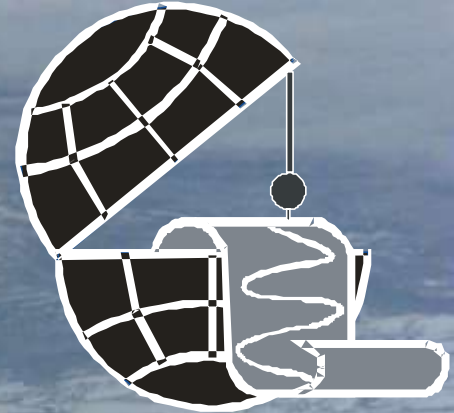
Наиболее ярким событием в деятельности КФ РЭС явилась экспертиза поступивших прогнозных оценок о развитии сейсмической обстановки на Камчатке и принятие решения о прогнозе сильного землетрясения в феврале 2012 г.

По состоянию на 10 февраля 2012 г. отмечались аномалии в наблюдаемых геофизических полях (согласно восьми прогностическим методикам, включая ВСШ, вариации параметра t , Z-тест, гидрогеохимические, скважинные гидрогеодинамические, скважинные геоакустические наблюдения, мониторинг концентрации почвенных газов и ОНЧ-излучения), что позволило сделать вывод о повышении вероятности землетрясений с $M = 6 - 7$ в 5-10 раз в районе южной Камчатки, включая Авачинский залив в течение месяца (до 10 марта 2012 г.) (см. рис. 15.3.2).

В течение месяца с момента выдачи прогноза КФ РЭС ожидаемое землетрясение не произошло. Однако, по мнению большинства авторов заключений ситуация не изменилась. КФ РЭС счел необходимым продлить прогноз сильного землетрясения до 30 марта 2012 г. снизив вероятность. 30 марта прогноз был снят, ожидаемые землетрясения не произошли.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Внедрение результатов НИР в работу КФ РЭС повысит достоверность оценок сейсмической опасности на территории Камчатского края и снизит риски ЧС и их последствий.



СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ!