

**ТЕСТИРОВАНИЕ МЕТОДИКИ ОПЕРАТИВНОГО ПРОГНОЗА СИЛЬНЫХ МИРОВЫХ  
ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ (ГЛОБАС) В РЕАЛЬНОМ ВРЕМЕНИ В ПЕРИОД  
ЯНВАРЬ 2008 – ОКТЯБРЬ 2009 гг.**

*Широков В.А.*

*Камчатский филиал геофизической службы РАН, г. Петропавловск-Камчатский, [shirokov@emsd.ru](mailto:shirokov@emsd.ru)*

**Введение**

При разработке модели подготовки тектонических землетрясений нами развивается альтернативный к существующим моделям [1, обзор и др.] подход, согласно которому солнечная активность, гравитационные и электромагнитные процессы в системе Солнце-Земля-Луна имеют ключевое значение на всех стадиях подготовки сильных сейсмических событий [2, 6, 8-14 и др.]. На этой основе предложена планетарно-региональная модель подготовки землетрясений [9], в соответствии с которой общепланетарные космические воздействия, значимо влияющие на региональные геодинамические процессы, приводят к геофизическому отклику на любых расстояниях от очагов готовящихся землетрясений, в том числе на оперативной, менее недели, заключительной стадии подготовки сейсмических событий [9, 11, 14]. Таким образом, считается, что оперативные предвестники, регистрирующиеся в разных регионах мира, являются следствием, в основном, планетарной составляющей геофизического процесса [10, 11, 14]. В рамках этой модели разработана методика краткосрочного прогноза времени, места и магнитуды камчатских землетрясений (алгоритм М6), основанная на комплексном анализе сейсмологических, геофизических и космофизических данных [9]. На ее основе для района южной Камчатки, где расположен г. Петропавловск-Камчатский, в 1995-2008 гг. сделано около 30 прогнозов землетрясений в реальном времени с магнитудой  $M = 6-7.8$  и временем упреждения до двух недель. Большинство прогнозов оправдались по всем трем параметрам.

Аналогом этого подхода в глобальном варианте является пробная методика оперативного, со временем упреждения до семи суток, прогноза сильных мировых землетрясений ГЛОБАС (ГЛОБальная Активизация Сейсмичности) по комплексу сейсмологических и космофизических данных, которая прошла первую проверку в реальном времени в период январь 2008 - апрель 2009 гг. [11]. Использовался каталог NEIC GS USA. Тестирование велось нерегулярно, эпизодически [11, 14]. Всего было сделано 9 оперативных прогнозов времени и магнитуды событий, причем в двух из них были сделаны оправдавшиеся оценки мест возникновения мировых землетрясений (землетрясения ожидалось в Японии ( $M = 6.8$ ) и в Индонезии ( $M = 6.4$ ), где они и произошли [10, 11, 14]).

На втором этапе тестирование велось почти ежедневно по комплексной методике (май-октябрь 2009 г.) на основе совместного анализа данных по методике ГЛОБАС и методике оперативного прогноза мировых землетрясений И.И. Степанова, осуществляющего непрерывную регистрацию деформаций в г. Александров Владимирской области с использованием датчика собственной конструкции, установленного на глубине одного метра [5, 14]. В период май-октябрь 2009 г. было сделано 16 оперативных прогнозов, причем с 7 сентября давались прогнозы не только времени и магнитуды, но и места ожидаемых в мире сильных землетрясений [14]. Использовалась методика ГЛОБАС плюс, разрабатываемая В.А. Широковым [14]. Все сделанные в реальном времени прогнозы официально регистрировались в Камчатском филиале Российского экспертного совета по прогнозу землетрясений, оценке сейсмической опасности и риска.

Целями проводимых исследований были оценка возможностей каждого из разрабатываемых методов оперативного прогноза землетрясений в реальном времени в отдельности, а также при их совместном использовании (ГЛОБАС, ГЛОБАС плюс и метод мониторинга деформаций И.И. Степанова), совершенствование методов прогноза, поиск новых прогностических параметров, пробная проверка возможностей прогноза мест возникновения землетрясений.

Для оценки степени неслучайности делавшихся в 2008-2009 гг. оперативных прогнозов мировых землетрясений введено понятие «качество прогноза  $Q$ ». Понятно, что чем больше магнитуда события и меньше время упреждения прогноза, тем меньше вероятность сделать прогноз случайно. Поэтому качество прогноза можно характеризовать величиной  $Q$ , которая представляет отношение среднего интервала ( $t$ ) между последними по времени землетрясениям ко времени упреждения  $T$ . Для расчета  $t$  берутся 5 последних событий с  $M \geq M_{\text{пор}}$  (отдельно для глубин до 50 км и более 50 км, в зависимости от глубины произошедшего события с  $M_{\text{пор}}$ ). Вероятность  $P$  случайного прогноза для

пуассоновского потока событий  $P = 1 - e^{-1/Q}$ . При  $Q = 3.5$  получим относительно небольшую вероятность  $P = 0.25 = 1/4$ , т.е. при таком качестве случайный прогноз будет оправдываться примерно в одном случае из четырех. В связи с этим принято, что успешными считаются прогнозы (по времени и магнитуде) с качеством  $Q \geq 3.5$ . При использовании параметра  $Q$  в случае объявления времени тревоги для мировых событий нет даже необходимости давать прогноз магнитуды (но сразу принимается условие, что прогнозы даются для событий с  $M \geq 6.0$ ). Таким образом, время тревоги  $T$  объявляется для событий с  $M \geq 6.0$  с открытой датой, но  $T$  не должно превышать семь суток (иначе, по определению, такие прогнозы не могут считаться оперативными). Именно на основе расчета качества прогнозов  $Q$  оценивается далее степень неслучайности сделанных прогнозов.

В таблице 1 приведены даты прогнозов, время упреждения  $T$ , магнитуды  $M$  и глубины очагов  $H$  землетрясений, а также качество прогнозов. Видно, что только для первого прогноза от 11.01.08 величина  $Q$  на 0.2 меньше требуемого значения. В остальных семи случаях прогнозы можно считать успешными. Вероятность сделать случайно подряд 7 успешных прогнозов практически равна нулю, т.е. методика ГЛОБАС оказалась достаточно эффективной. Отметим, что максимальное время тревоги равно 6.2, а среднее - около трех суток. Был еще один прогноз от 30.03.09, который был снят по следующей причине. После прогноза от 27.03.09 магнитуда события 28 марта в каталоге NEIC сначала была 5.8, т.е. ниже порога рассматриваемых нами магнитуд. Поэтому было принято решение, что прогноз от 27 марта не оправдался и 30.03.09 был сделан новый прогноз. Но затем событию 28.03.09 дали магнитуду  $M = 6.0$  (см. табл. 1) и в прогнозе от 30 марта уже не было необходимости.

Таблица.1 Реализация оперативных прогнозов мировых землетрясений по методике ГЛОБАС с оценками вероятности  $P$  случайного возникновения событий и качества  $Q$  их прогнозов.

Дата прогноза	11.01 2008	07.05 2008	10.07 2008	14.11 2008	05.02 2009	27.03 2009	20.04 2009	23.04 2009
Упреждение $T$ , сутки	4.74	0.59 2.81 5.36	4.87	2.71	6.22	1.17 4.58	1.14	3
$M/H$ , км	6.5/597	6.9/27 6.8/76 7.9/19	6.4/52	7.4/30	7.2/20	6.0/93 6.4/10	6.2/152	6.1/131
$Q$	3.3	28 16 19	9.2	44	3.6	23 3.5	33	12
$1 - P$	0.74	0.999	0.9	0.98	0.76	0.95	0.97	0.92

В таблице 2 представлены данные комплексных прогнозов мировых землетрясений, время упреждения и качество прогнозов. Четыре прогноза со временем упреждения до трех суток не оправдались, причем 2 из них после детального анализа данных были досрочно сняты (при этом событий на 6-суточных интервалах как раз не было). Остальные прогнозы оказались успешными при среднем времени упреждения, равном двум суткам. Уменьшение  $T$  произошло благодаря методике прогноза И.И. Степанова, так как после определения времени максимумов деформационных аномалий ожидаемые события в 90% случаев происходят менее, чем через сутки-двое. Начиная с 29 сентября 2009 г. событий с  $M \geq 6.2$  было достаточно много, поэтому в таблице приведены только наиболее сильные. Прогнозы для большинства событий с  $M = 6.2-6.5$  также были успешными. В период после 28 сентября был сделан успешный прогноз времени, места и магнитуды 12 из 14 землетрясений с  $M \geq 6.6$ , в том числе двух катастрофических землетрясений 29.09.09 с  $M = 8.1$  и 30.09.09 с  $M = 7.5$ , унесших жизни более трех тысяч человек на островах Самоа во время возникшего цунами и в Индонезии на о-ве Суматра. Время тревоги для сильнейшего в 2009 г. события 29.09.09 было 17 часов. Ошибка по месту для 12 из 14 землетрясений не превышала 800 км, что в масштабах Земли не превышает 4% от половины длины окружности Земли [14].

Таким образом, тестирование проверявшихся методов оперативного прогноза показало, что использовавшиеся методики оказались достаточно эффективными, так как ложных прогнозов было 4 с общим временем тревоги около 15 суток, а суммарное время упреждения на интервале 22 месяцев составило 68 из 670 суток. Медианное значение  $Q$  равно 16, а минимальное - 4.8. Кроме того, были сделаны удачные прогнозы мест возникновения 12 сильных землетрясений. Среднее время тревоги при комплексной схеме прогноза (май-октябрь 2009 г.) приблизилось к двум суткам. Такие малые

времена тревоги, несомненно, связаны с тем, что активные планетарные процессы подготовки сильных мировых землетрясений достаточно кратковременны. Полученные результаты могут рассматриваться в качестве подтверждения планетарно-региональной модели подготовки землетрясений [9,11,14].

Таблица 2. Каталог мировых землетрясений, для которых сделан оперативный прогноз в реальном времени с использованием методики ГЛОБАС и деформационных наблюдений (данные И.И. Степанова) с указанием времени тревоги T и качества прогнозов Q.

Дата землетрясения	время	широта	Долгота	глубина	Магнитуда	T, сутки	Q, качество прогноза
16.05.09	005352.74	-31.52	-178.79	54	6.5	2.2	30.3
02.06.09	021703.51	-17.76	167.95	15	6.3	0.72	12.9
05.06.09	033033.06	41.82	143.45	29	6.4	0.85	14.7
23.06.09	141922.35	-5.16	153.78	64	6.7	4.32	20.4
03.08.09	175956.17	29,04	-112.90	10	6.9	2.48	12.8
28.08.09	015120.40	-7.15	123.43	642	6.9	6.05	17.4
07.09.09	161222.58	-10.20	110.63	23	6.2	0.46	11.8
17.09.09	232139,00	-29.14	-112.27	10	6.2	0.73	6.3
24.09.09	071624.77	18.82	-107.35	10	6,3	0,54	73
29.09.09	174810.85	-15.51	-172.03	18	8.1	0.7	354
30.09.09	101609.19	-0.73	99.86	81	7.5	1.34	250
04.10.09	105800.14	6,74	123.36	620	6.6	1	14
07.10.09	214114.33	4,08	122.37	574	6.8	3.45	5.4
07.10.09	220315.99	-13.01	166.51	45	7.7	3.46	20
07.10.09	221826.05	-12.52	166.38	35	7.8	3.47	54
08.10.09	082848.69	-13.30	165.91	35	6.8	3.89	4.8

### **О механизме появления «удаленных» оперативных предвестников сильных мировых землетрясений**

Выскажем соображения о предположительном механизме появления оперативных, со временем упреждения менее семи суток, геофизических аномалий на заключительной стадии подготовки сильных мировых землетрясений. При этом необходимо ответить на главный вопрос о том, чем определяется кратковременность планетарных процессов, приводящих к возникновению оперативных геофизических аномалий в различных регионах Земли, независимо от мест возникновения и глубины очагов готовящихся сильных землетрясений. Именно подобные аномалии выявляются в рамках методики ГЛОБАС и при регистрации деформаций в г. Александров И.И. Степановым [14]. На наш взгляд, решающую роль в таких кратковременных планетарных процессах играют явления не деформационной, а электромагнитной природы, которые могут почти одновременно в течение короткого времени проявляться в тензочувствительных зонах различных регионов Земли. В связи с этим обратимся сначала к известным представлениям о геомагнитном поле Земли и ее электропроводности.

Еще в 1692 г. Хэлли [4] опубликовал свой вывод, что вековые вариации магнитного поля Земли вызваны его устойчивым западным дрейфом и что часть поля связана с магнитными массами, находящимися во внутреннем ядре. Эти выводы согласуются с современными представлениями, согласно которым магнитное поле Земли представляется в виде центрального диполя (85% поля), помещенного в центр Земли и так называемой недипольной составляющей, представленной несколькими радиально ориентированными диполями, расположенными во внешнем ядре [4, 7 и др.]. Отметим, что дрейф магнитного поля связывается в основном с его недипольной составляющей. На основе магнитотеллурического зондирования земных недр [4, 7 и др.] удалось определить их электропроводность ( $\gamma$ ) в земной коре, мантии и ядре. В земной коре и литосфере, до границы с астеносферой, электропроводность с глубиной возрастает. Носителями зарядов здесь являются электроны и дырки в земной коре и ионная проводимость в литосфере. В астеносфере за счет понижения температуры электропроводность устойчиво падает до тех пор, пока не появляется ее скачок на целый порядок примерно на глубине 420 км. Далее наблюдается слабый устойчивый рост  $\gamma$

вплоть до границы около 700 км, где снова электропроводность скачком возрастает более, чем на порядок. В дальнейшем рост  $\gamma$  происходит вплоть до границы внешнего ядра за счет электронно-полупроводниковой проводимости. В расплавленной металлической части ядра проводимость почти в 3000 раз больше, чем у подошвы нижней мантии на глубине 2900 км [7 и др.]. По нашему мнению, земную кору и мантию Земли до границы с жидким ядром можно представить в виде глобальных конденсаторов, общепланетарные «обкладки» которых находятся примерно на следующих глубинах: верхние горизонты земной коры, граница Мохо, 420, 700 и 2900 км. Эти границы выделяются по скачкам электропроводности, по фазовым переходам вещества и как сейсмические. Другие планетарные границы в нашей схеме играют, вероятно, менее важную роль.

Предполагается, что планетарные кратковременные геофизические процессы от ядра до земной коры протекают следующим образом. За счет механизма магнитогидродинамического динамо в ядре как источника геомагнитного поля [4] и процессов взаимодействия главного диполя с малыми диполями, находящимися во внешнем ядре, в отдельные периоды времени могут происходить скачкообразные процессы быстрой передачи на границу ядро-мантия мощного накопленного заряда какого-нибудь одного из нескольких диполей, формирующих недипольную составляющую магнитного поля Земли. В предельном случае мощный накопленный заряд малого диполя, появившийся на глубине 2900 км, должен быстро разрядиться через планетарную «обкладку» конденсатора в коре и на границе Мохо (за счет большой разницы потенциалов на указанных границах). Этот общепланетарный кратковременный процесс разрядки конденсатора охватит всю земную кору и мантию, приведет в них к увеличению потока носителей зарядов, к возрастанию потока флюидов, к возникновению предвестниковых аномалий в различных геофизических полях, и, как следствие, к появлению сильных мировых землетрясений и эффектов их группируемости (кластеров) во времени. Главными характеристиками этого процесса являются его большая энергетика, планетарный характер и кратковременность. При этом повысится вероятность возникновения сильнейших землетрясений, которые уже давно подготовлены. В отдельных случаях разрядка большого заряда на границе 2900 км может охватывать сначала меньший интервал глубин, например, от 700 до 2900 км и процесс может оказаться менее устойчивым и более длительным. В любом случае основным фактором является величина быстро появляющихся и затем быстро уменьшающихся электрических потенциалов на «обкладках» планетарных конденсаторов.

Приведем три из нескольких десятков примеров, которые подтверждают предложенный механизм. **Пример 1.** В каталоге мировых землетрясений для периода январь 2009-январь 2010 гг. с  $M \geq 6.3$  зарегистрировано за 13 месяцев 76 событий. К группирующимся отнесены соседние по времени землетрясения, происходившие на интервалах длительностью менее 80 часов. В результате выделено 19 кластеров, в которых произошло 57 землетрясений, и 19 одиночных событий. Общая длительность кластеров составила всего 48 суток, т.е. 12% от 13 месяцев, но в них произошло 17 событий с  $M \geq 7.0$  (от  $M = 7.0$  до  $M = 8.1$ ). События такой силы отмечены в 11 кластерах. Среди одиночных было только 2 события с  $M \geq 7.0$  ( $M = 7.2$  и  $M = 7.3$ ). Плотность потока ( $d$ ) землетрясений с  $M \geq 7.0$  в кластерах по сравнению с одиночными событиями  $d = (17/48)/2/396 = 70$ , т.е. по частоте возникновения различие составляет почти 2 порядка. Средняя длительность кластеров составляет всего 1.3 суток. Таким образом, можно сделать вывод, что появление статистически значимых планетарных кластеров событий происходит как следствие реализации предложенного механизма.

**Пример 2.** Для периода январь-июль 2009 г. исследовался сейсмический отклик Корякского вулкана (Камчатка) перед мировыми землетрясениями с  $M \geq 6.3$ . Приняв первые землетрясения кластеров и одиночные землетрясения в качестве реперов, проверялась гипотеза о случайном распределении вулканических землетрясений (ВЗ) энергетического класса  $K \geq 5$  в интервалах за 6 суток до и после реперов [14]. Показано, что распределение ВЗ на 12-суточном интервале оказалось неслучайным. Аномально высокая частота ВЗ отмечена затрое суток до событий-реперов (в среднем за 1.4 суток), поэтому такие ВЗ рассматриваются как оперативные предвестники сильных мировых землетрясений с  $M \geq 6.3$ . В [14] показано, что в 2008-2009 гг. в комплексе с другими предвестниковыми аномалиями подобные эффекты успешно использовались для прогноза мировых землетрясений со временем упреждения менее 6 суток. Сделан вывод, что оперативные предвестниковые аномалии в полях разной природы, выделяемые на заключительной, менее семи суток, стадии подготовки сильных мировых тектонических землетрясений, независимо от места их возникновения, связаны с кратковременными интенсивными процессами планетарного масштаба [14].

**Пример 3.** В работе [3] показано, что в 2007 г. на Северокавказской обсерватории ИФЗ РАН при регистрации геомагнитного поля магнитными вариометрами для 32 землетрясений из 44 с

магнитудой более 5 были зафиксированы квазипериодические ультранизкочастотные возмущения с периодами от 40 до 165 с длительностью около 10-12 минут за 2-4 часа до землетрясений. Как указывают авторы, удовлетворительного объяснения обнаруженному явлению до сих пор нет. Подобные геомагнитные возмущения, регистрирующиеся на любых расстояниях от очагов землетрясений, соответствуют планетарно-региональной модели подготовки землетрясений [9, 14] и предлагаемому механизму возникновения оперативных геофизических аномалий

### **Выводы**

На основе тестирования в 2008-2009 гг. различных методов оперативного, со временем упреждения менее семи суток, прогноза мировых землетрясений в реальном времени показано, что прогноз времени и магнитуды сильных событий является решаемой задачей. Время упреждения событий для разных методов составляет в среднем от двух до трех суток. В 2008-2009 гг. сделаны первые успешные прогнозы определения мест возникновения более десяти сильных землетрясений с  $M \geq 6.6$  с ошибкой менее 800 км, что не превышает 4% от половины длины окружности Земли.

Предложен механизм «разрядки планетарных конденсаторов» (как механизм возникновения «удаленных» оперативных геофизических предвестников мировых землетрясений), в соответствии с которым землетрясения являются следствием кратковременных мощных процессов электромагнитной природы, охватывающих за часы-десятки часов ядро, мантию и земную кору. Считается, что эти процессы связаны с западным дрейфом магнитного поля Земли. Этот механизм не противоречит планетарно-региональной модели подготовки тектонических землетрясений [9].

Автор выражает искреннюю благодарность д.г.-м.н. И.И.Степанову за содействие работе и полезные дискуссии.

### **Список литературы**

1. Добровольский И.П. Механика подготовки тектонического землетрясения. М.: Наука, 1991. 189 с.
2. Кропоткин П.Н. Возможная роль космических факторов в геотектонике // Геотектоника. 1970. № 2. С. 30-76
3. Собисевич Л.Е., Канониди К.Х. Собисевич А.Л. Ультранизкочастотные электромагнитные возмущения, возникающие перед сильными сейсмическими событиями // ДАН. 2009. Т. 429. № 5. С. 668-672
4. Стейси Ф. Физика Земли. М.: Мир, 1972. 342 с.
5. Степанов И.И. Некоторые результаты 4-летнего мониторинга вариаций объемных деформаций вблизи зоны субдукции в районе Авачинского залива Камчатки // Вестник Камчатского Государственного технического университета. 2002. № 1. С. 130-139
6. Сытинский А.Д. О связи землетрясений с солнечной активностью // Физика Земли. 1989. № 2. С. 13-30
7. Филиппов Е.М. Геофизические поля в познании планеты. Киев: Изд. РАНО «Укрвузполиграф», 1991. 196 с.
8. Широков В.А. Влияние космических факторов на геодинамическую обстановку и ее долгосрочный прогноз для северо-западного участка Тихоокеанской тектонической зоны // Вулканизм и геодинамика. М.: Наука, 1977. С. 103-115.
9. 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.
10. Широков В.А. Разработка моделей подготовки сильных землетрясений и вулканических извержений на основе изучения их связи с космическими ритмами // Материалы Всероссийской конференции, посвященной 100-летию Камчатской экспедиции Русского географического общества 1908-1910 гг. 22-27 сентября 2008, г. Петропавловск-Камчатский. Петропавловск-Камчатский: ИВиС ДВО РАН, 2009. С. 241-253.
11. Широков В.А. Тестирование методики оперативного прогноза сильных мировых землетрясений (ГЛОБАС) в реальном времени в период январь 2008 - апрель 2009 гг. // Тезисы докладов. Вторая региональная научно-техническая конференция «Проблемы комплексного геофизического мониторинга Дальнего Востока России», г. Петропавловск-Камчатский, 11-17 октября 2009 г. Петропавловск-Камчатский: ГС РАН, 2009. С. 104.
12. Широков В.А., Руленко О.П. Новая методика исследования и сопоставления вариаций скорости сейсмотектонического движения и динамики электрического поля в приземном воздухе // Сборник докладов IV международной конференции «Солнечно-земные связи и предвестники землетрясений», 14-17 августа 2007 г., с. Паратунка Камчатской обл. Петропавловск-Камчатский, 2007. С. 211-217.
13. Широков В.А., Серафимова Ю.К. О связи 19-летнего лунного и 22-летнего солнечного циклов с сильными землетрясениями и долгосрочный сейсмический прогноз для северо-западной части Тихоокеанского тектонического пояса // Вестник КРАУНЦ. Науки о Земле. 2006. № 2. Вып. № 8. С. 120-133.
14. Широков В.А., Степанов И.И., Дубровская И.К. Изучение сейсмического отклика действующих вулканов Корякского и Ключевского (Камчатка) на заключительной стадии подготовки сильных мировых тектонических землетрясений по данным наблюдений 2008-2009 гг. // Вестник КРАУНЦ. Науки о Земле. 2009. № 2. Вып. № 14. С. 118-129.