

ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ГЕОДИНАМИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ ОЛЮТОРСКОГО ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ (20.04.06) ПО ДАННЫМ КАМЧАТСКОЙ GPS СЕТИ.

Левин В.Е.¹, Бахтияров В.Ф.¹, Павлов В.М.^{1,2}, Титков Н.Н.¹, Сероветников С.С.¹

1 Камчатский филиал Геофизической службы РАН, г. Петропавловск-Камчатский, lev@emsd.ru

2 Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН, г. Петропавловск-Камчатский

Введение

В конце 1997 года на Камчатке была создана региональная опорная сеть GPS станций непрерывного наблюдения КАМNET. Сеть создавалась для определения глобальных движений тектонических блоков, регистрации смещений земной коры возникающих от сейсмических событий и как опорная сеть для эпизодических и полевых GPS наблюдений на локальных полигонах в районах активных вулканов.

На сегодня сеть из 18 станций с шагом около 200 километров охватывает всю территорию Камчатской области и Корякского Автономного Округа. В районе г. Петропавловска-Камчатского и п. Усть-Камчатск сеть уплотнена. Здесь станции стоят с шагом 10-20 км. Северная часть сети показана на рисунке 1.

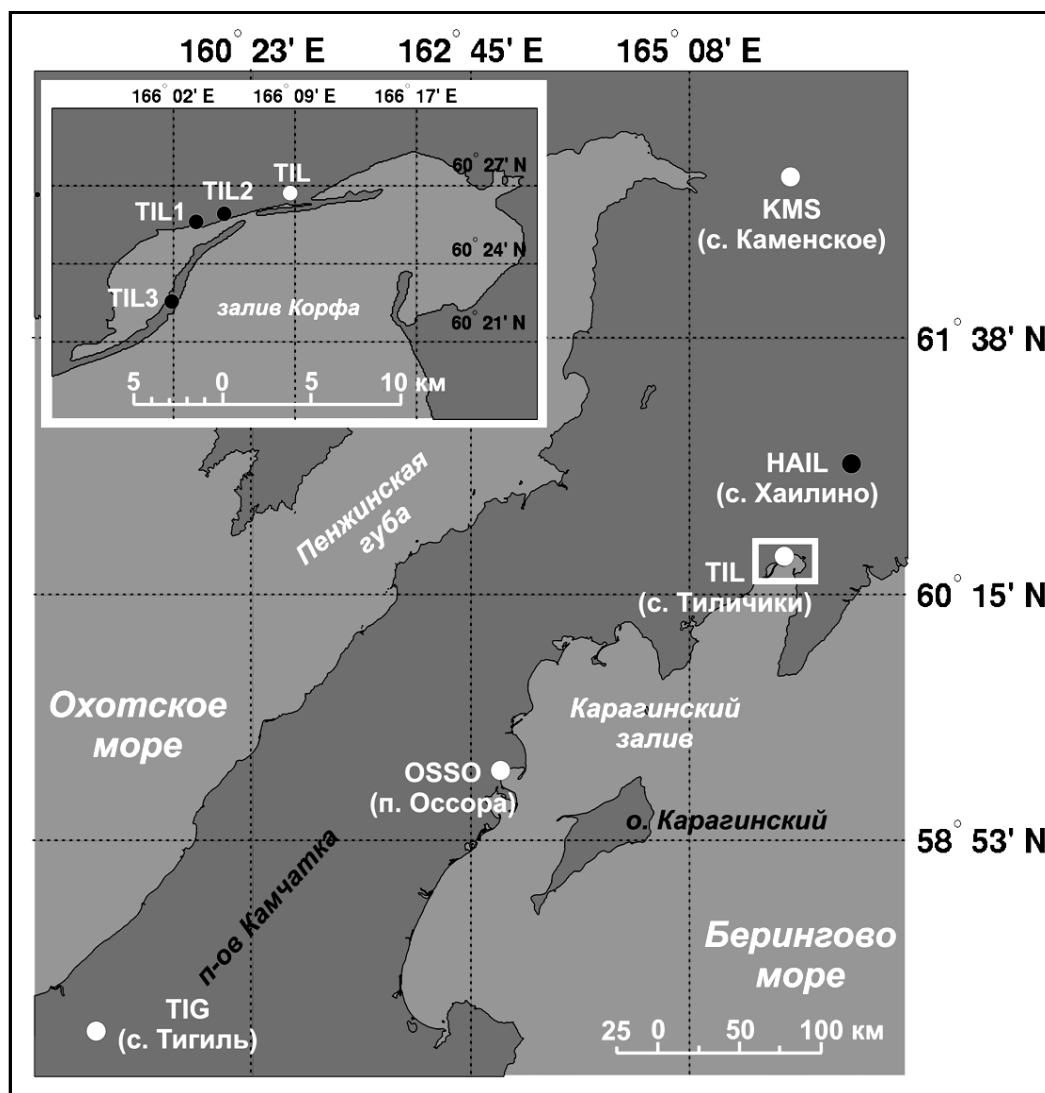


Рисунок 1. Северная часть сети КАМNET. На врезке пункты постоянных и эпизодических GPS наблюдений в поселках Корф и Тиличики. Светлые кружки - пункты постоянных наблюдений, темные – эпизодических.

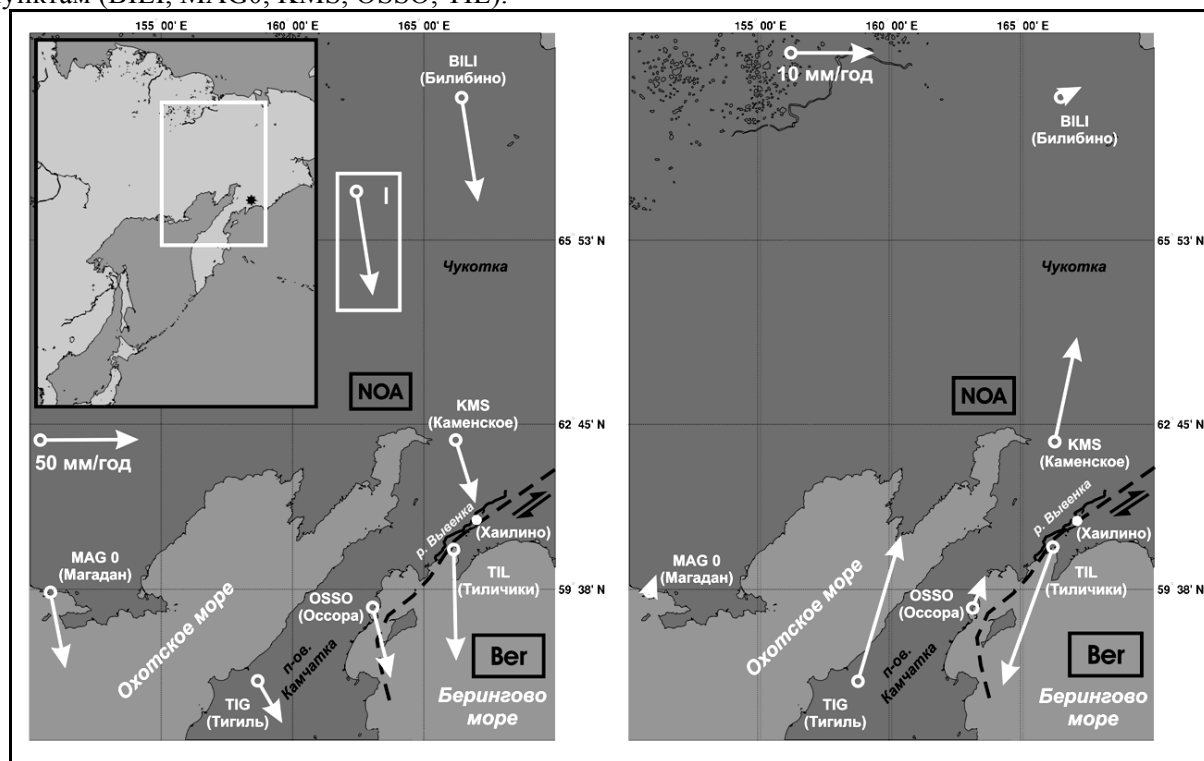
Имеется также около 140 реперов, наблюдения на которых проводятся эпизодически. Для наблюдений, в основном, используются GPS приемники ASHTECH Z-XII3 или TOPCON GP-R1DY с антеннами ASHTECH CHOKERING или Topcon Geodetic III. Обработка наблюдений ведется пакетом программ GAMIT/GLOBK [10,11].

Опорными GPS станциями сети KAMNET зафиксированы смещения земной коры от крупных сейсмических событий, таких как Кроноцкое землетрясение 05.12.1997 Mw=7.8 [4], землетрясение в районе острова Беринга 05.12.2003 Mw=6.6 [5] и Олюторское землетрясение 20.04.2006 M=7.6 предварительные результаты изучения которого по данным GPS наблюдений сети KAMNET обсуждаются в данной статье.

Результаты обработки GPS измерений сетью KAMNET, связанных с Олюторским землетрясением 20.04.06. M=7.6

Землетрясение 20.04.06 с M=7.6, получившее название Олюторское, произошло на территории Корякского автономного округа (КАО) в районе села Хаилино и связано с разломом протяженностью около 100 км, представляющего собой серию кулис, вытянутых с севера - востока на юго-запад [6]. Данное сейсмическое событие, а также его сильнейшие афтершоки были зарегистрированы GPS станциями TIL и KMS, которые расположены на разных бортах разлома (зоны вспарывания). Предполагаем, что землетрясения, происходящие в данном районе связаны с коллизией Северо-Американской (NOA) и Берингийской плит (Ber) [3]. По данным GPS наблюдений процесс взаимодействия плит отражается в особенностях перемещений GPS пунктов.

При рассмотрении относительных движений GPS пунктов на северо-востоке Евразии (рис. 2б) видно, что пункт TIL смещается в противоположном направлении по отношению к остальным пунктам (BILI, MAG0, KMS, OSSO, TIL).



а) б)
Рисунок 2. Вектора среднегодовых смещения пунктов GPS наблюдений на Северо-Востоке Евразии. а.) Смещения в Международной земной системе координат ITRF2000 («абсолютные»). б.) Смещения за вычетом вектора I (относительные). Вектор I получен как среднее по векторам смещений в ITRF2000 группы станций MAG0, BILI, OSSO, TIL, KMS. NOA – Североамериканская плита, Ber - Берингийская плита. — примерное положение границы между NOA и Ber. ⇐ направление относительного движения NOA и Ber.

Подобная особенность движения поставила вопрос о проверке на стабильность репера GPS станции TIL. Ответ должны были дать трехгодичные эпизодические наблюдения на дополнительных реперах TIL1, TIL2, TIL3, заложенных в 2004 году на расстояниях 4-10 км (рисунок 1, врезка) от основного пункта. В 2004 и 2005 годах было проведено две эпохи

наблюдений. Провести третью эпоху помешало Олюторское землетрясение. Поэтому строгий вывод о стабильности пункта TIL остается открытым, но малые (в пределах ошибки измерений) относительные удлинения расстояний между основным и дополнительными реперами (таблица 1) позволяют считать пункт TIL стабильным.

Таблица 1. Изменение дистанции между основным и дополнительными реперами.

Дата измерения	Пункты	Расстояние, метры	Относительное удлинение 10^{-6}
12.11.2004	_TIL-TIL2	4172.844	-1.7
15.12.2005	_TIL-TIL2	4172.837	
12.11.2004	_TIL-TIL1	5730.498	-1.4
15.12.2005	_TIL-TIL1	5730.490	
12.11.2004	_TIL-TIL3	10352.599	-0.9
15.12.2005	_TIL-TIL3	10352.590	

Временные ряды измерений на GPS пунктах TIL и KMS с 2001 года приведены на рисунках 3, 4, с 2006 на рисунках 5, 6. По данным временного ряда пункта TIL сделана оценка скоростей горизонтальных и вертикальных компонент перемещений (таблица 2).

Таблица 2. Оценка скоростей перемещения пункта TIL.

Направление	Скорости на интервале, (мм/год)		
	01.01.2001 – 20.04.2006	23.05.2006 – 31.10.2006	1.08.2006 – 31.10.2006
Юг-Север	-26.8 ± 2.7	-38.4 ± 2.6	-31
Запад-Восток	1.7 ± 3.6	-27.2 ± 3.6	-5
Высота	-6.7 ± 7.1	-17.4 ± 5.3	0

На рисунке 3 видно предваряющее отклонение координаты SN от глобального тренда на величину нескольких миллиметров, которая началась в конце 2005 года.

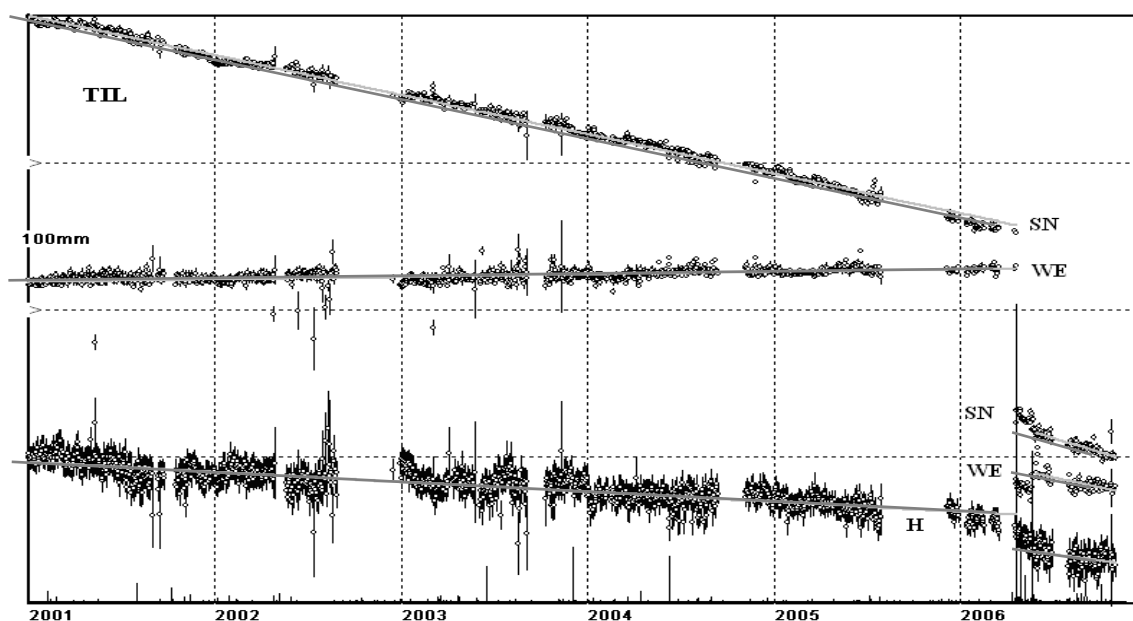


Рисунок 3. Временной ряд GPS наблюдений на пункте TIL 2001 года. Прямые наклонные линии - линейная аппроксимация. Вертикальные линии - сейсмическая активность, пропорционально энергии землетрясения и обратно пропорционально квадрату расстояния до гипоцентра

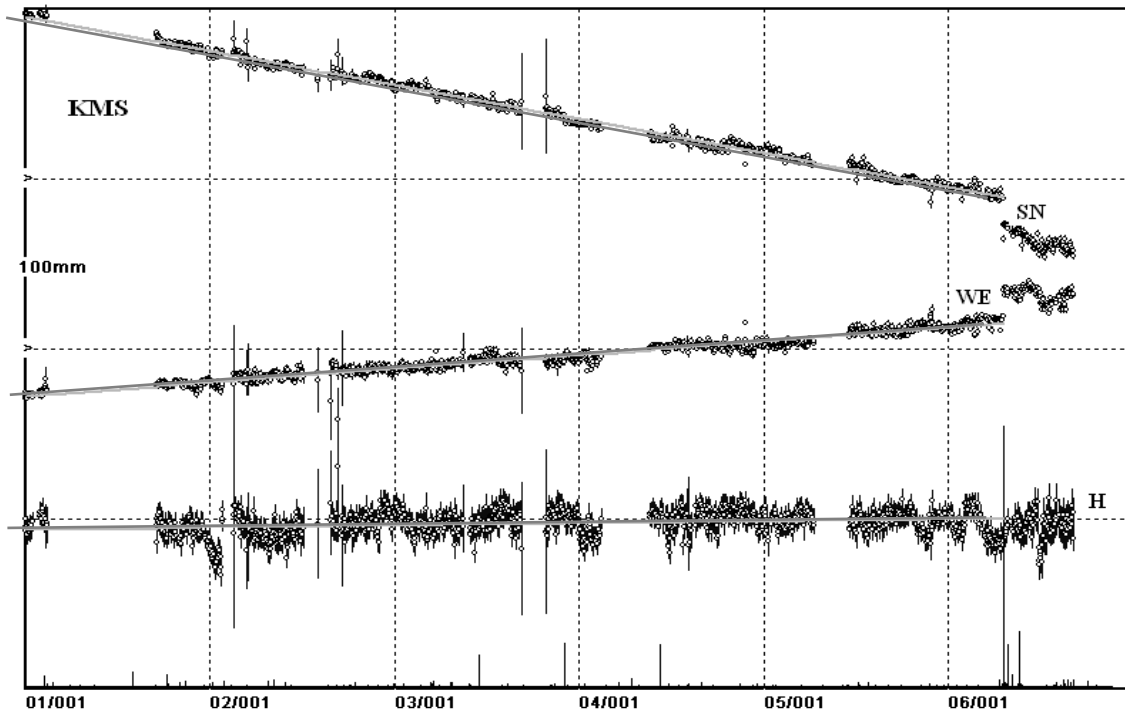


Рисунок 4. Временной ряд GPS наблюдений на пункте KMS с 2001 года.

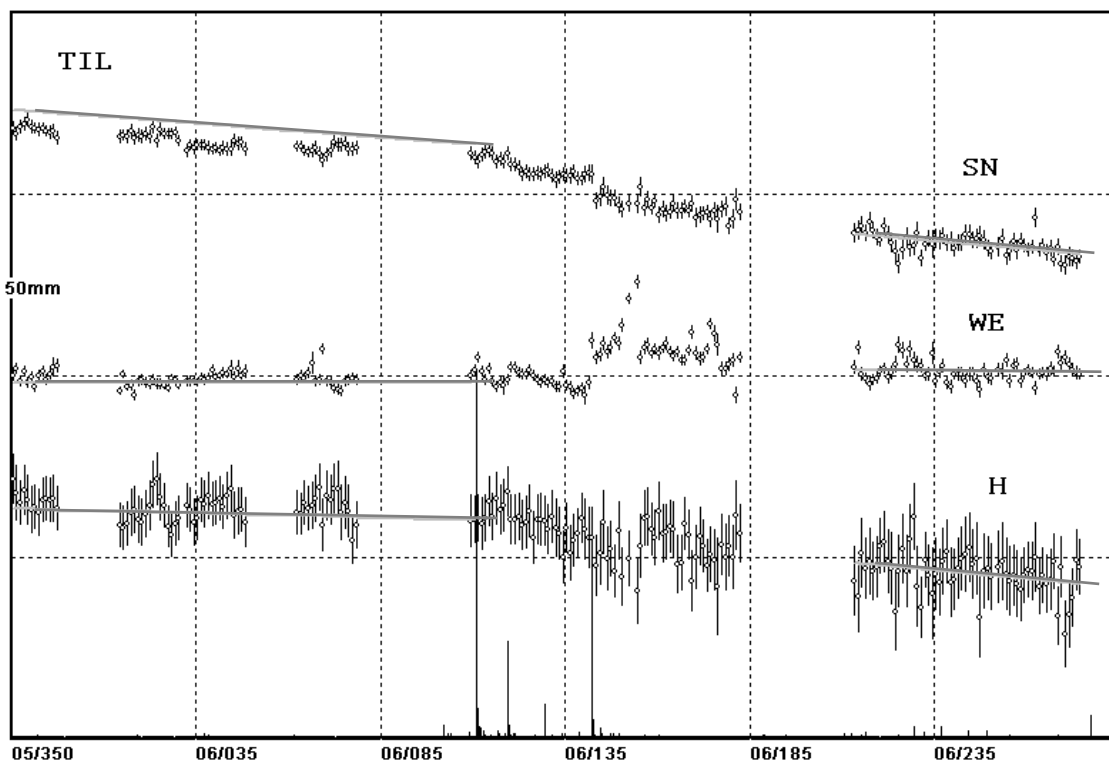


Рисунок 5. Временной ряд GPS наблюдений на пункте TIL с конца 2005 года. На рисунке удален косейсмический скачек от основного события 20.04.2006 23:25, $M_w=7.6$.

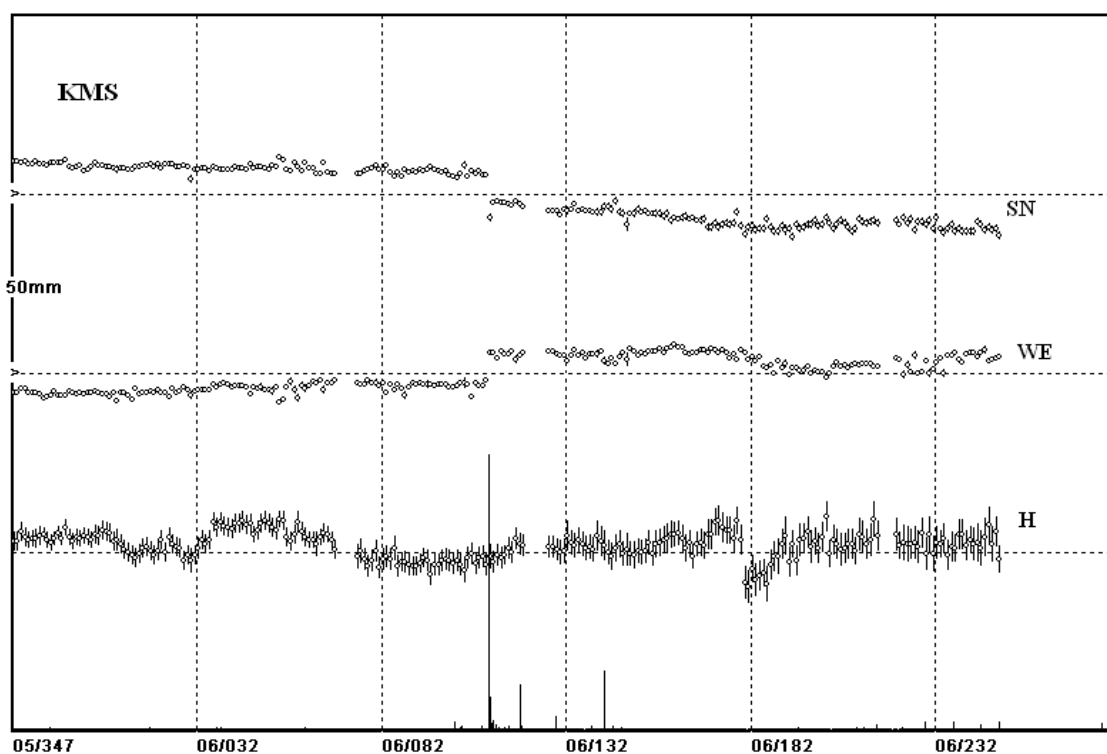


Рисунок 6. Временной ряд GPS наблюдений на пункте KMS с 2006 года.

Анализируя данные таблицы 2, отметим, что изменение скорости, вычисленное сразу после второго афтершока (23.05.06-31.10.06) может быть не вполне корректным. Скорости, вычисленные на интервале 1.08.06-31.10.06 имеют величины близкие к скорости до землетрясения. После землетрясения на смещение пункта TIL, видимо накладывается влияние афтершокового процесса. После 1.08.06 поведение пункта TIL приближается к поведению до землетрясения, а величина скорости пункта восстанавливается.

Косейсмические скачки (таб. 3, рис.7), связанные с коровым Олюторским землетрясением 20.04.2006 Mw=7.6 были зарегистрированы только на постоянных пунктах TIL (100км от эпицентра основного толчка) и KMS (170км).

Таблица 3. Величины косейсмических скачков от основного события 20.04.2006 23:25, Mw=7.6 и крупнейшего афтершока 22.05.2006 11:30, Mw=7.0

Пункт, дата события.	Юг-Север, (м)	Запад-Восток, (м)	Высота, (м)
_TIL 20.04.2006	-0.125±0.002	-0.146±0.002	-0.014±0.006
TIL2 20.04.2006	-0.185±0.001	-0.095±0.001	-0.057±0.006
TIL3 20.04.2006	-0.333±0.001	0.532±0.001	-0.570±0.005
_KMS 20.04.2006	-0.021±0.002	0.012±0.002	0.006±0.008
_TIL 22.05.2006	-0.005±0.004	0.013±0.004	-0.005±0.017

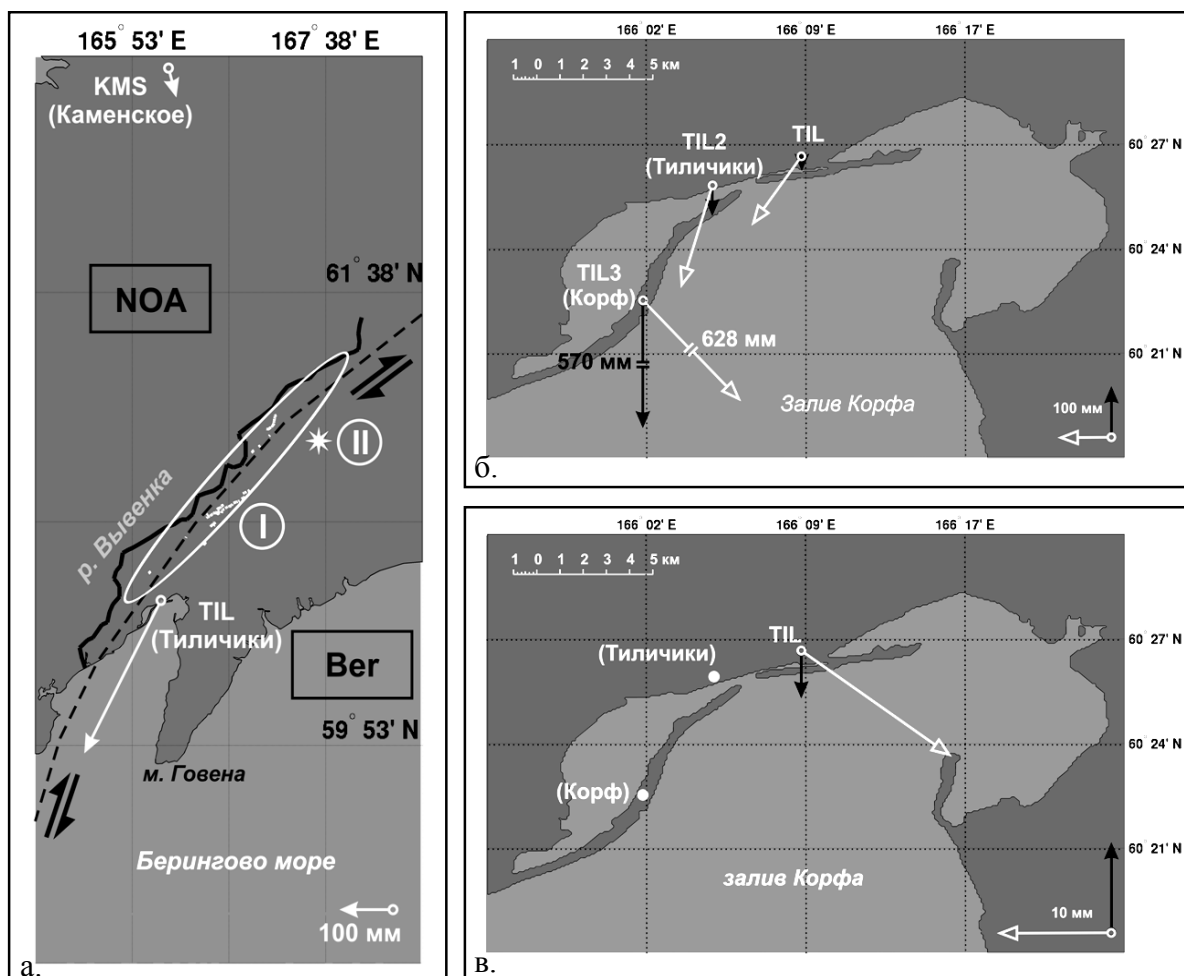


Рисунок 7. Вектора косейсмических скачков; Вертикальные черные стрелки – вертикальная компонента косейсмического скачка, белые – горизонтальная компонента. а) Вектора косейсмических скачков на пунктах KMS, TIL от Олюторского землетрясения 20.04.2006 $M_w=7.6$; I-Зона сейсмодислокаций по данным полевого обследования; II-Эпицентр землетрясения; \rightleftarrows направление относительного движения NOA и Ber; штрих-линия примерное положение границы между NOA и Ber; б) Вектора косейсмических скачков на пунктах TIL, TIL2, TIL3 от Олюторского землетрясения 20.04.2006 $M_w=7.6$; в) Вектор косейсмического скачка на пункте TIL от крупнейшего афтершока 22.05.2006 11:30, $M_w=7.0$.

На других постоянных GPS станциях сети KAMNET смещений не наблюдались. Для пунктов TIL2 и TIL3 косейсмический скачок можно оценить лишь приблизительно, поскольку в момент землетрясения 20.04.06 GPS измерения на них не велись. По координатам, полученным из GPS наблюдений до события в периоды 4.11.04-12.11.04 и 6.12.05-15.12.05 проводилась прямая линия, и определялось расстояние от нее до координат зарегистрированных по измерениям после события, на пункте TIL2 5.05.06-9.05.06, на пункте TIL3 13.09.06-15.09.06. Это расстояние бралось за оценку косейсмического смещения. Большая величина смещения пункта TIL3 вызвана, прежде всего, сильной деформацией Корфской косы, а также повреждением здания, на котором заложена марка GPS пункта.

Стоит отметить большую вероятность потери пункта для высокоточных геодезических GPS наблюдений при закладке марки на инженерных сооружениях в сеймоопасных районах Камчатки. Так, из четырех пунктов, марки которых были заложены на зданиях поселков Корф и Тилички, для высокоточных GPS измерений остались пригодны два. Причина – повреждение зданий.

Интерпретация среднегодовых скоростей перемещений «северных» пунктов сети KAMNET

Камчатка по моделям NNR-NUVEL-1A находится в зоне взаимодействия трех глобальных плит Тихоокеанской (PC), Североамериканской (NOA) и Евразийской (EUR). При детальном

рассмотрении имеется сопряженное тройное сочленение Тихоокеанской, Берингийской (Ber) и Североамериканской плит в районе стыка Курило-Камчатского и Алеутского глубоководных желобов, южнее которого происходит субдукция Тихоокеанской под Североамериканскую плиту, а севернее проходит граница Берингийской и Североамериканской плит.

В статье [1] анализ, тогда еще коротких временных рядов GPS измерений сети KAMNET, позволил сделать предположение, что GPS пункты KMS и TIL могут находиться на разных тектонических плитах. Зона перехода между NOA и Ber плитами проходит рядом с пунктом TIL и что данный пункт может принадлежать Берингийской плите.

На основании сравнения, полученных из измерений скоростей GPS пунктов относительно Евроазиатской и Северо-Американской плит можно видеть, что пункты BILI, MAG0, KMS и OSSO принадлежат Северо-Американской плите [8]. Пункт TIL движется в противоположном по отношению к ним направлении (рис. 2б). Подобный характер движения пункта TIL за многолетний период наблюдений подтверждает предположение о принадлежности его к Берингийской плите.

По полученным значениям среднегодовых скоростей GPS пунктов KMS, OSSO, TIL, можно определить относительное смещение Берингийской и Североамериканской плит в районе пункта TIL, как правосторонний сдвиг со скоростью примерно в 15 мм/год. Данная оценка достаточно груба, поскольку, во-первых отсутствуют пункты GPS наблюдения на противоположном борту разлома (Североамериканская плита) в непосредственной близости к нему, а во-вторых направление плоскости сдвига определено и оценивалось по данным визуального обследования эпицентральной зоны [6, 7]. Отсутствие плотной сети GPS наблюдений не позволяет оценить величину поперечных деформаций на границе плит в районе пункта TIL., предвзвешивших Олюторское землетрясение. Данные обследования эпицентральной зоны [6, 7] говорят о взбросово-сдвиговом характере сейсмодислокаций, а, следовательно, о предварительном сжатии. Данные оценки среднегодовых скоростей смещений GPS пунктов (рис. 2б) показывают растяжение. Данный факт заслуживает отдельного и тщательного анализа.

Интерпретация косейсмических скачков для Олюторского землетрясения и его сильнейшего афтершока 22.05.2006 11:30, Mw=7.0

Косейсмические скачки смещений в пунктах GPS для Олюторского землетрясения и его сильнейшего афтершока были проинтерпретированы в рамках модели дислокационного источника в упругом полупространстве.

В дислокационной модели очага землетрясения источник – прямоугольная площадка длины L и ширины W , с длинной стороной параллельной горизонтальной плоскости. Ориентация плоскости задается азимутом простирания его длинной стороны φ_s и углом падения δ ($0^\circ \leq \delta \leq 90^\circ$) (угол с горизонтальной плоскостью, получающийся вращением правой полуплоскости, если смотреть вдоль простирания). Подвижка \mathbf{V} – относительное смещение бортов разрыва – постоянный по величине и направлению вектор.

Значения упругих параметров полупространства – модулей λ и μ (параметры Ламе) – оценивались по скоростной модели Камчатки для соответствующей глубины центра площадки очага. Значение μ связано со скоростью поперечных волн β и плотностью ρ формулой $\mu = \rho\beta^2$. В предположении $\lambda = \mu$ (отношение квадратов скоростей продольных α и поперечных волн β равно 3) получаем формулу

$$\mu = \rho \alpha^2 / 3, \quad (1)$$

которой мы воспользуемся ниже при оценивании значения модуля сдвига μ .

Имеющиеся GPS наблюдения (таблица 3) сами по себе недостаточны для определения параметров очага. Дополнительно была использована информация об эквивалентном точечном источнике из Гарвардского CMT (Centroid Moment Tensor) каталога, доступного в Интернете (<http://www.globalcmt.org/CMTsearch.html>). Этот каталог, в частности, дает координаты центра – «средней» точки протяженного очага, в которой располагается эквивалентный точечный источник, и оценку наилучшего двойного диполя.

Последний определяет фокальный механизм - две возможные плоскости для очага и значение скалярного сейсмического момента M_0 , а также, связанное с ним значение моментной магнитуды M_w (таблица 4).

Скалярный сейсмический момент выражается через параметры очага по формуле

$$M_0 = \mu |\mathbf{V}| LW \quad (2)$$

При фиксированном M_0 эта формула дает связь между параметрами очага. Другой связью, ограничивающей возможные значения параметров очага, является корреляционная зависимость

между площадью очага, выраженной в км², и моментной магнитудой M_w [2]
 $\lg(LW)=M_w-4.1$ (3)

Таблица 4. Параметры Олюторского землетрясения и его афтершока 22.05.2006 г.

Индекс	Дата	Время в очаге ч.м.с	Положение гипоцентра			Mw
			φ°	λ°	h, км	
М	20.04.2006 ¹⁾	23:24:57.7	60.98	167.36	0	7.6
А	22.05.2006 ²⁾	11:12:00.3	60.77	165.74	16.5	6.6

¹⁾ определение КФ ГС РАН; ²⁾ каталог USGS NEIC

Формулы (2), (3) позволяют оценить величину подвижки (обозначим ее B_0). При фиксированном положении и размерах площадки очага компоненты подвижки в плоскости могут быть определены с помощью линейной инверсии. В плоскости очага вводится система координат: начало – в центре площадки, ось x – вдоль простирания, ось y – перпендикулярно в плоскости вверх. При этом компоненты подвижки \mathbf{B} соответствуют сдвигу (B_1) и взбросу (B_2). Обозначим через \mathbf{U}_1 смещение в точке наблюдения, вызванное подвижкой $B_1=1$ м, $B_2=0$, а через \mathbf{U}_2 – смещение, вызванное подвижкой $B_1=0$, $B_2=1$ м. Тогда смещение в точке наблюдения представляется в виде

$$\mathbf{u} = B_1 \mathbf{U}_1 + B_2 \mathbf{U}_2 \quad (4)$$

Функции \mathbf{U}_1 , \mathbf{U}_2 – аналоги функций Грина – рассчитывались по формулам Окады [9]. Уравнения (4), записанные для компонент смещения в точках наблюдения, составляют систему линейных уравнений для неизвестных компонент подвижки B_1 , B_2 . Эта система, при числе уравнений больше двух, решается методом наименьших квадратов.

Величина так определенного вектора подвижки должна быть согласована с оценкой B_0 , полученной на основе формул (2), (3). Для того чтобы сделать это положение и размеры площадки очага варьировались с учетом положения центроида, СМТ механизма и формулы (3).

Очаг Олюторского землетрясения. Исходные данные для интерпретации – горизонтальные косейсмические смещения на GPS пунктах Тилички (TIL) и Каменское (KMS) (таблица 3).

Для очага Олюторского землетрясения были рассмотрены три модели очага, которые обозначаем М1, М2 и М3 (таблица 6). Мы предполагаем, что в двух из них (М1, М2) плоскость очага совпадает с одной из плоскостей СМТ механизма, а центр площадки модельного очага совпадает с положением СМТ центроида. В модели М3 плоскость очага та же что и в модели М2, но центр площадки смещен относительно центроида СМТ. При этом глубина центра площадки совпадает с глубиной центроида равной 12 км.

Оценка значения параметра μ : для глубины 12 км в соответствии со скоростным разрезом для Камчатки скорость продольных волн $\alpha=5.8$ км/с; для плотности приняли $\rho=2.6$ г/см³, что дало по формуле (1) значение $\mu=2.9 \cdot 10^{10}$ Н/м².

Для длины и ширины очага с учетом геометрии облака афтершоков и формулы (3) были приняты следующие значения: $L=108$ км, $W=30$ км ($L/W=3.7$).

Результаты расчетов приведены в таблицах 6,7 и на рисунках 8,9.

Для модели очага М1 подвижка имеет преимущественную компоненту взброса. Плоскость перпендикулярная рассчитанному вектору подвижки (этот вектор направлен по нормали к дополнительной плоскости) определяет вместе с плоскостью очага механизм, который будем называть GPS механизмом. По результатам расчетов получили, что GPS механизм близок СМТ механизму. Это можно видеть как из рисунка 8 так и по значениям угла подвижки λ_s в плоскости очага (таблицы 5 и 6). Величина подвижки B_0 равна 3.17 м, что несколько отличается от значения 3.19 м, которое получается, если пользоваться формулами (2) и (3) и СМТ значением скалярного сейсмического момента.

Таблица 5. Данные по СМТ механизму.

Индекс	Дата	Время в очаге	Положение центроида			Плоскости механизма		Угол подвижки	M0	Mw
			ч:м:с	φ°	λ°	h , км	φ_s°			
М	20.04.2006	23:25:17.6	60.89	167.05	12.0	44	51	101	29.9	7.6
						207	40	76		
А	22.05.2006	11:12:5.8	60.86	165.81	12.0	344	87	-176	1.0	6.6
						253	86	-3		

λ_s – угол в плоскости очага между направлением простириания и вектором подвижки; отсчитывается от направления простириания против часовой стрелки.

Таблица 6. Используемые модели очага и результаты оценивания подвижки.

Модель Очага	Положение центра площадки			Ориентация площадки		Размеры очага		Параметры подвижки			M_0
	φ°	λ°	H , км	φ_s°	δ°	L , км	W , км	$B1$, м	$B2$, м	λ_s°	
M1	60.890	167.050	12.0	44	51	108	30	0.45±0.27	3.16±0.64	98	30.0
M2	60.890	167.050	12.0	207	40	108	30	2.08±0.64	2.39±2.73	49	29.9
M3	61.054	166.586	12.0	207	40	25	12.5	2.44±1.65	1.99±2.62	39	29.6
A1	60.816	165.827	12.0	344	87	25	12.5	-1.14	-0.07	-176	1.0
A2	60.817	165.827	12.0	253	86	25	12.5	1.11	-0.05	-3	1.0

$B1$ и $B2$ – сдвиговая и взбросовая компоненты подвижки в плоскости очага.

Таблица 7. Наблюдаемые и модельные косейсмические смещения.

Компонента	Основной толчок				Афтершок		
	S	M1	M2	M3	S	A1	A2
TIL, N, см	-12.5	-13.2	-18.9	-11.6	-0.68	-0.58	-0.22
TIL, E, см	-14.6	-13.1	-23.7	-12.4	1.43	1.15	1.03
TIL, U, см	-0.15	-0.44	5.59	3.15	-0.17	0.06	0.02
KMS, N, см	-2.16	-3.66	-5.01	-6.65	-	-	-
KMS, E, см	1.25	2.28	2.51	2.59	-	-	-
KMS, U, см	-0.6	0.06	0.49	0.53	-	-	-

S – наблюдаемые значения; M1-M3 – модели очага основного толчка, A1, A2 – модели очага афтершока см. таблицу 5).

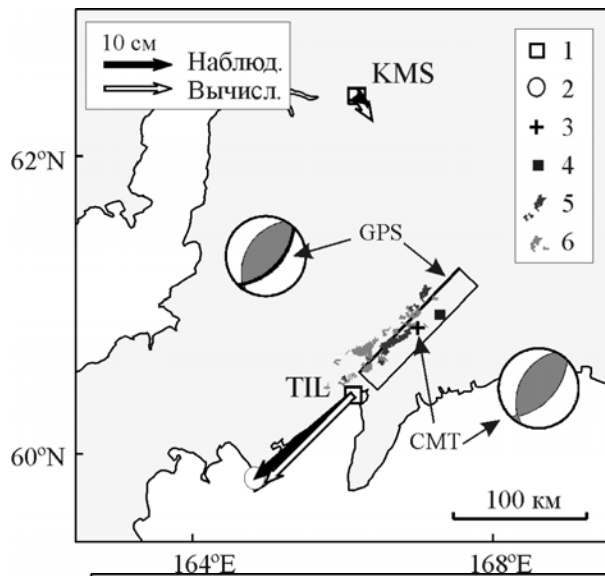


Рисунок 8. Сравнение горизонтальных косейсмических смещений пунктов GPS со смещениями, вычисленными по модели очага для Олюторского землетрясения. 1 – GPS пункты; 2 – эллипс ошибок для наблюдаемого вектора; 3 – центроид СМТ; 4 – эпицентр землетрясения; 5 – проявления сейсморазрыва на поверхности, 6 – вторичные проявления на поверхности (5, 6 по данным Т.К. Пинегиной [6]). Проекция очага на поверхность показана прямоугольником; его верхняя кромка отмечена жирной линией. Показаны СМТ и GPS механизмы (в стереографической проекции нижней полусферы). На диаграмме для GPS механизма жирной линией помечена плоскость очага.

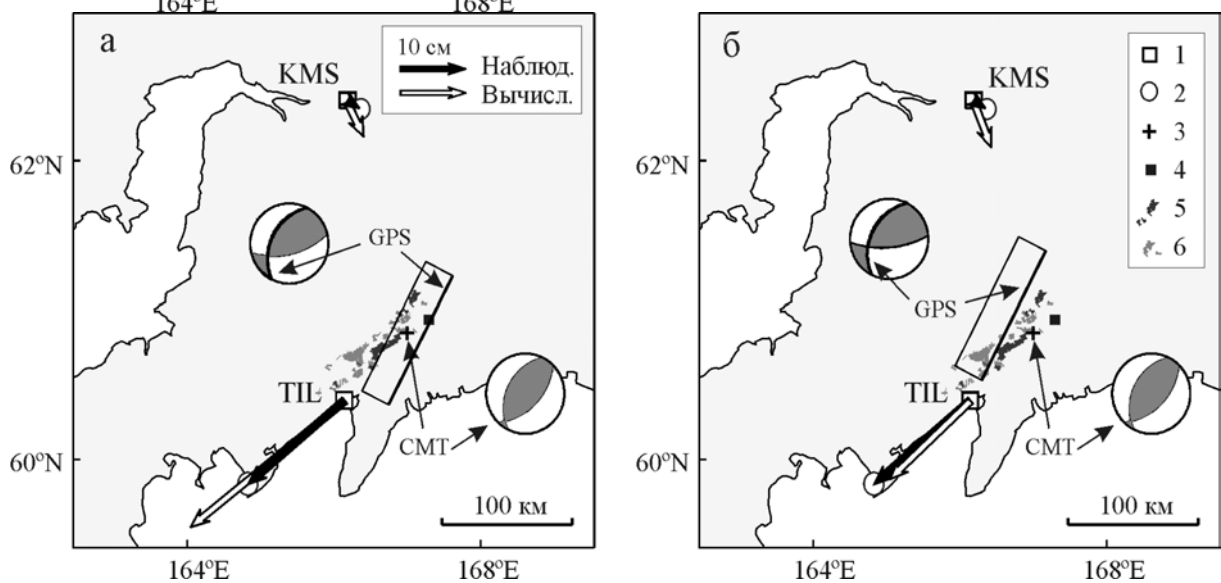


Рисунок 9. Результаты подгонки GPS косейсмических наблюдений (горизонтальные смещения) для Олюторского землетрясения в случае, когда очаг лежит в плоскости (азимут 207, угол падения 40) СМТ механизма для двух положений очага: центр площадки очага совпадает с СМТ эпицентром (а) – модель М2; центр площадки очага сдвинут на 31 км по отношению к СМТ эпицентру в направлении с азимутом 305° (б) – модель М3. Обозначения те же что и на рисунке 8.

Мы сочли это различие несущественным. Модель М2 отличается от модели М1 только тем, что в качестве плоскости очага взята другая плоскость СМТ механизма. Эта модель плохо согласуется с GPS данными – модельный скачок смещения на пункте ТИЛ более чем в полтора раза превышает наблюдаемый (таблица 7, рисунок 9а). Поэтому были проведены пробные расчеты для модели со сдвинутым по горизонтали центром площадки очага. В результате проб и ошибок удалось в какой-то степени согласовать имеющиеся данные, приняв модель очага М3. В этой модели центр площадки очага сдвинут на 31 км по отношению к СМТ эпицентру в направлении с азимутом 305°. Тем не менее, различие смещений на пункте КМС осталось довольно существенным. Кроме того, очаг оказался довольно далеко от инструментального эпицентра.

По результатам расчетов наилучшее согласие с GPS данными имеет модель очага М1. Она согласуется и инструментальным эпицентром и с геометрией поверхностных нарушений определенных Т.К. Пинегиной [6].

Для афтершока 22.05.2006 г. Олюторского землетрясения GPS наблюдения имеются только на одном (ТИЛ), поэтому не было смысла проводить инверсию. Проверялось согласие между наблюдаемыми и рассчитанными по модели горизонтальными компонентами косейсмического скачка смещения. Поскольку глубина центроида афтершока такая же как и для

основного толчка, то для модуля сдвига μ было принято то же значение, что и в случае основного толчка. Для длины и ширины очага с учетом формулы (3) были приняты значения: $L=25$ км, $W=12.5$ км ($L/W=2$). Были рассмотрены две модели в соответствии с двумя плоскостями СМТ механизма (таблица 6). Первоначальный расчет с центром площадки очага, совмещенным с центроидом не дал удовлетворительных результатов как для одной, так и для второй плоскости механизма. Центр площадки очага в обоих случаях был сдвинут на 5.2 км в направлении с азимутом 341° , то есть практически по азимуту простираения плоскости СМТ механизма, принятой за плоскость очага в модели А1 (таблица 6, рисунок 10). При этом получаем удовлетворительное согласие с наблюдениями для модели А1. Расхождение между расчетом по модели А2 и наблюдениями довольно существенное, но добиться лучшего результата за счет сдвига центра очага не удастся, так как для этой модели расчетные смещения мало чувствительны к сдвигу очага в этой части территории. В то же время чувствительность расчетных смещений к сдвигу очага для модели А1 весьма высока и очаг А1 фиксируется достаточно определенно.

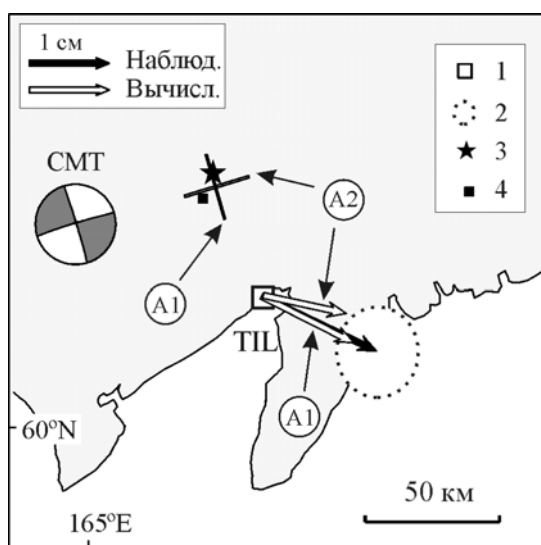


Рисунок 10. Сравнение горизонтальных косейсмических смещений пунктов GPS со смещениями, вычисленными по моделям очага А1, А2 для афтершока 22.05.2006. 1 – GPS пункт; 2 – эллипс ошибок для наблюдаемого вектора; 3 – центроид СМТ; 4 – эпицентр афтершока. СМТ механизм показан в стереографической проекции нижней полусферы.

Заключение

На Камчатском полуострове и Командорских островах, расположенных в области тройного конвергентного сочленения крупнейших литосферных плит: Евразийской, Северо-Американской и Тихоокеанской создана и развивается региональная GPS сеть КАМNET, которая является составной частью опорной сети GPS станций Геофизической Службы РАН (NEDA) на территории северной Евразии. Созданная сеть позволяет определять скорости и величины деформационных процессов Камчатского полуострова, Командорских островов и Дальнего Востока, а также измерять величины и скорости накопления деформаций в сейсмоактивных районах.

Во время работы региональной GPS сети КАМNET произошло крупное коровое Олюторское землетрясение 20.04.2006 Mw=7.6. Полученные данные наблюдений сети КАМNET и данные архива КФ ГС РАН позволили сделать предварительную оценку скорости относительного перемещения Беринговоморской и Североамериканской плиты в районе Олюторского землетрясения. В постобработке, при анализе временного ряда GPS наблюдений на пункте ТИЛ выявлена аномалия, начавшаяся в конце 2005 года. Олюторское землетрясение предварялось смещениями п. ТИЛ по координате Юг-Север на несколько миллиметров от среднего глобального тренда (рис.3). От самого землетрясения и его сильнейшего афтершока обнаружены хорошо выраженные косейсмические деформации, связанные с этими событиями.

Косейсмические скачки перемещений GPS пунктов для Олюторского землетрясения и его сильнейшего афтершока 22.05.2006 г проинтерпретированы в рамках модели дислокационного источника в упругом полупространстве. По совокупности данных о GPS наблюдениях, СМТ механизме и поверхностных проявлениях Олюторского землетрясения получены оценки параметров очага: азимут простираения плоскости 44° , угол падения 51° ; величина подвижки 3.2 м, угол вектора подвижки с направлением простираения 98° ; длина очага 108, ширина 30 километров. При этом центр площадки очага совпадает с СМТ гипоцентром. Для очага афтершока 22.05.2006 г. мало данных, для того чтобы с уверенностью оценить значения параметров его очага.

Горизонтальные косейсмические смещения на пункте ТП удовлетворительно воспроизводятся для очага с площадкой длины 25 и ширины 12.5 километров, с центром, сдвинутым относительно СМТ эпицентра на 5.2 км в направлении с азимутом 341°, практически вдоль плоскости СМТ механизма, принятой за плоскость очага (азимут 344°, угол падения 87°). Согласие между наблюдениями и расчетом по альтернативной модели со второй плоскостью СМТ механизма несколько хуже, но, в данном случае, это не является основанием для выбора между этими двумя моделями. Для обоснования выбора необходимо привлечь дополнительные данные по геометрии собственных афтершоков этого события и геологическим разломам района его очага.

В целях дальнейшего успешного продолжения исследований деформационных процессов, связанных с сейсмическими событиями необходимо увеличивать количество GPS станций сети КАМNET в зонах предполагаемых сильных землетрясений, а это практически все восточное побережье Камчатского полуострова. Для более точного определения относительной скорости перемещения Берингоморской и Североамериканской плит необходимо дополнительно провести GPS наблюдения в нескольких пунктах по возможности ближе к предполагаемой границе плит.

Благодарности

Авторы благодарят группу сводной обработки Камчатского филиала ГС РАН за предоставленную информацию о координатах гипоцентра Олюторского землетрясения 2006 г., а также Т.К. Пинегину за данные по расположению поверхностных проявлений, возникших в результате этого землетрясения.

Полевые работы по регистрации движений земной коры в эпицентральной зоне Олюторского землетрясения проведены при финансовой поддержке РФФИ грант №06-05-02100.

Интерпретация GPS наблюдений в рамках модели дислокационного источника в упругом полупространстве выполнена при финансовой поддержке Президиумов Дальневосточного Сибирского отделений РАН (интеграционный проект 06-П-СО-01-001).

Список литературы.

1. Гордеев Е.И., А.А. Гусев, В.Е. Левин, В.Ф. Бахтиаров, В.М. Павлов, В.Н. Чебров и М. Касахара. Предварительный анализ перемещений станций GPS на Камчатке: скорости плит и геодезический предвестник землетрясения // Геодинамика и вулканизм Курило-Камчатской островодужной системы, Петропавловск-Камчатский. 2001. С. 82-94.
2. Гусев А.А., Мельникова В.Н. Связи между магнитудами – среднемировые и для Камчатки // Вулканология и сейсмология. 1990. № 6. С. 55-63.
3. Ландер А.В., Букчин Б.Г., Дроздин Д.В., Кирюшин А.В. Тектоническая позиция и очаговые параметры Хаилинского (Корякского) землетрясения 8 марта 1991 года: существует ли плита Берингия? // Геодинамика и прогноз землетрясений. Вычислительная сейсмология. Вып. 26. М.: Наука, 1994. С. 103-122.
4. Левин В.Е., Гордеев Е.И., Бахтиаров В.Ф., Касахара М. Предварительные результаты GPS мониторинга на Камчатке и Командорских островах // Вулканология и сейсмология. 2002. №1. С.3-11.
5. Левин В.Е., Магуськин М.А., Бахтиаров В.Ф., Павлов В.М., Титков Н.Н. Мультисистемный геодезический мониторинг современных движений земной коры на Камчатке и Командорских островах // Вулканология и сейсмология. 2006. №3. С.54-67.
6. Пинегина Т.К., Константинова Т.Г. Макросейсмическое обследование последствий Олюторского землетрясения 21 апреля 2006 года // Вестник КРАУНЦ. Науки о Земле. 2006. №1. Выпуск №7. С.169-173.
7. Рогожин Е.А., Овсяченко А.Н., Мараханов А.В., Новиков С.С., Пинегина Т.К. Олюторское землетрясение в Корякии 20(21) апреля 2006г.: результаты геологического и макросейсмического изучения эпицентральной области // статья в данном сборнике.
8. Стеблов Г.М. Взаимодействие тектонических плит в север-восточной Азии. // Докл. Академии Наук. 2004. Т.394. №5. С.689-692.
9. Okada, Y. Surface deformation due to shear and tensile faults in a half-space // Bull. Seism. Soc. Am. 1985, V. 75.
10. T. A. Herring, R. W. King, S. C. McClusky. GAMIT Reference Manual. GPS Analysis at MIT. Release 10.3. Department of Earth, Atmospheric, and Planetary Sciences Massachusetts Institute of Technology. 28 September 2006.
11. T. A. Herring, R. W. King, S. C. McClusky. GLOBK Reference Manual. Global Kalman filter VLBI and GPS analysis program. Release 10.3. Department of Earth, Atmospheric, and Planetary Sciences. Massachusetts Institute of Technology. 28 September 2006.