

УДК 528

О. Галаганов, Т. Гусева, В. Передерин

Институт физики Земли им. О.Ю. Шмидта Российской академии наук

РЕЗУЛЬТАТЫ ИЗУЧЕНИЯ СОВРЕМЕННЫХ ДВИЖЕНИЙ ЗЕМНОЙ КОРЫ НА ТЕРРИТОРИИ БАЛТИЙСКО-ЛАДОЖСКОГО РЕГИОНА РОССИИ

© Галаганов О., Гусева Т., Передерин В., 2005

Рассмотрены результаты изучения современных движений и деформаций земной коры сотрудниками лаборатории спутниковой геодезии и деформометрии ИФЗ РАН. Приводятся данные вертикальных движений группы глубинных реперов и GPS-пунктов "Шепелево" на берегу Финского залива. Приведены скорости движений за период 1999–2003 гг., полученные с помощью GPS-измерений. Результаты показывают, что средняя скорость точек зафиксирована: на берегу Финского залива – 22.3 мм/год в направлении 57°, В Карелии – 24.8 мм/год в направлении 71°

Results of studying of modern movements of the Earth's crust of the Baltic-Ladoga region, carried out by employees of laboratory of a satellite geodesy IPE of the Russian Academy of Science are considered. Are cited the data on vertical movements of group of deep reference points and GPS points "Shepelevo" on a coast of the Finland gulf. Speeds of movements for 1999–2003 received with help GPS of measurements are given. It is received, that horizontal movings with average speed of points are fixed: on a coast of the Finland gulf – 22.3 mm / year on a direction 57°, in Karelia – 24.8 mm / year on a direction 71°.

Рассматриваются результаты изучения современных движений и деформаций земной коры сотрудниками лаборатории спутниковой геодезии и деформометрии ИФЗ РАН, выполняемых с 1993 г. на территории Балтийско-Ладожского региона. Именно на территории этого региона на острове Финского залива в городе Кронштадте расположен уровнемерный пост (Кронштадский футшток), по данным замеров на котором получен многолетний средний уровень Балтийского моря, принятый за отсчетный нуль при определении нормальных высот земной поверхности – начало Балтийской системы высот. Хотя средний уровень моря в районе Кронштадского футштока, колебательные изменения разной амплитуды и длительности, его линейный тренд за отдельные периоды не превышает по абсолютной величине 0.5 мм в год (Богданов, 1996; Абалакин и др., 1998).

Изучение современных движений земной коры территории Российской части Балтийско-Ладожского региона проводили до недавнего времени только с использованием прецизионного нивелирования. Скорости вертикальных движений региона по многолетним данным прецизионного нивелирования составляют от – 1.0 до +1.5 мм/год (Карта, 1999). В связи с тем, что конструкция закрепления и расположение начала Балтийской системы высот перестало соответствовать современному уровню требований долговременной стабильности, в 80-х годах прошлого века начались работы по ее реконструкции. В результате был создан дублер старейшего в стране футштока и сеть реперов постов специальной конструкции (Абалакин и др., 1998). Создание трех постов глубинных реперов (Кронштадт, Шепелево и Ломоносов) в Ленинградской области должно было способствовать надежному и долговременному закреплению начала Балтийской системы нормальных высот, принятой в России, а также сохранению преемственности результатов разных эпох измерений.

Внедрение спутниковых технологий (GPS измерений) в практику высокоточных геодезических определений и геодинамических исследований на территории Балтийско-Ладожского региона началось с 1993 г. Возникла необходимость создания на местности геодинамической сети

пунктов GPS и связь их с реперами высотной сети. Закрепление новых знаков нарушает систему прямой преемственности результатов, ранее выполненных эпох исследований. Использование реперов для выполнения GPS-измерений зачастую невозможно как из-за их неблагоприятного геологического расположения, так и из-за закрытости для нормального прохождения спутниковых сигналов. Поэтому перед проведением первых эпох GPS-измерений по международному проекту "Уровень Балтийского моря" в регионе после специальной рекогносцировки в 1993 и в 1997 гг. была выполнена закладка пунктов GPS (Abalakin, Bogdanov, 1999). Не все из этих пунктов оказались достаточно устойчивыми.

Мареографическая служба обсерватории Шепелево на южном берегу Финского залива ("Шепелевский футшток") организована как дублер Кронштадтского футштока. Регистрация уровня моря на Шепелевском футштоке начата 1 ноября 1987 г. Для обеспечения высотной привязки уровневых наблюдений в 1987 г. создан микронивелирный полигон "Шепелево", включающий группу глубинных реперов 1, 2, 3 и 4 (реперный пост), фундаментальный грунтовый репер (2428) государственного нивелирования I класса, репер гравиметрического пункта (ВГП 7), стенную марку 7271, марку 8018 рядом с будкой мареографа. Кроме того, для выполнения измерений GPS по проекту уровень Балтийского моря в 1993 г. заложены марки для пунктов GPS (GPS-4 SHEP и SHE2). Реперный пост представляет собой группу из четырех реперов, заложенных в углах ромба со стороной 1.8 м. Конструкция репера собрана из металлических труб диаметром 89 мм, размещающихся в обсадных трубах большего диаметра. Глубина закладки основания каждого репера различна. Основания реперов закреплены: рп. 1 – в кристаллических породах докембрийского фундамента на глубине 176.3 м; рп. 2 – в гдовских водоносных песчаниках на глубине 117 м; рп. 3 – в средней части котлинских глин на глубине 73.2 м; рп. 4 – в кровле котлинских глин на глубине 26.6 м. Вся группа реперов поста находится в специальной защитной камере (домике). Фундамент камеры представляет бетонный монолит, не связанный со стенами и реперами, куда заложена марка ВГП 7 (вековой гравиметрический пункт 7). К сожалению, установка глубинных реперов под крышей не позволяет использовать их в качестве пунктов для спутниковых измерений. Наблюдения за вертикальными перемещениями реперов на полигоне "Шепелево" ведутся разными организациями (ГУГК, ИФЗ РАН, ГАО РАН) с 1987 г.

На рис. 1, а и б изображены пространственно-временные графики вертикальных перемещений глубинных реперов 2, 3, 4 и ВГП-7, а также фундаментального репера 2428, стенного репера 7271 и марки 8018 относительно самого глубокого рп. 1 и относительно первой эпохи измерений в 1987 г. Изменения превышений (dh) между реперами (1-2, 1-3 и 1-4) можно аппроксимировать линейными зависимостями: $dh(1-2) = (-0.021 \times \Delta t - 0.147)$ мм, $dh(1-3) = (0.066 \times \Delta t - 0.306)$ мм, $dh(1-4) = (-0.015 \times \Delta t - 0.542)$ мм, где Δt – временной интервал в годах от первой эпохи измерений. На фоне многолетнего тренда реперов: относительного опускания рп. 2 (до -0.8 мм), рп. 4 (до -0.2 мм) и поднятия рп. 3 (до 1.0 мм) – происходят вариации с разными периодами и амплитудой перемещений не превышающей 0,3 мм. За временной интервал наблюдений с 1993 г. для пунктов GPS (SHEP и SHE2) не выявлено направленных вертикальных перемещений, а амплитуда знакопеременных перемещений не превышает двух миллиметров. Аналогичная система исследования вертикальной составляющей организована в районе Кронштадтского футштока.

GPS-измерения. В данной работе рассматриваются результаты точных повторных измерений GPS выполненных в 1999, 2000, 2001, 2002 и 2003 гг. на Санкт-Петербургском геодинимическом полигоне (пункты PULR, KRON, SHEP, SHE2), Карелии (пункты с принудительным центрированием BOTS, GIRS, MELO) и острове Валаам в Ладожском озере (пункт с принудительным центрированием VALM). Измерения выполнялись 4–6 комплектами двухчастотным приемником спутниковых сигналов Trimble 4000 SSE и SSI. Регистрация сигналов на пункте производилась через 30 с в течение 3–7 суток. Обработка данных GPS-измерений выполнялась по программам GAMIT/GLOBK в международной системе координат ITRF2000 с использованием пунктов IGS: 8–10 – как исходных (базовых) и 4–5 – в

качестве контрольных. Анализ результатов обработки показывает, что скорости горизонтальных движений меняются в зависимости от длительности наблюдений на пункте и периода осреднения между соседними эпохами наблюдений (Галаганов и др., 2003). В результате совместного уравнивания всех эпох измерений с 1999 г. получено, что наиболее надежно определены скорости движений для пункта PULR (Пулково). Перемещения его происходили: горизонтальные – со скоростью (23.1 ± 0.1) мм/год на северо-восток по азимуту 64° , вертикальные – со скоростью (-1.8 ± 0.6) мм/год. По данным геометрического нивелирования скорость вертикальных движений в районе Пулково составляет около -1 мм/год (Карта, 1999). Для данного пункта скорости вертикальных движений, зафиксированные разными методами, достаточно хорошо совпадают. Горизонтальные перемещение пунктов SHE2 (22.1 ± 0.4) мм/год по азимуту 55° и KRON (21.8 ± 0.4) мм/год по азимуту 51° достаточно хорошо согласуются с общим характером движений в Прибалтийском регионе (рис. 2).

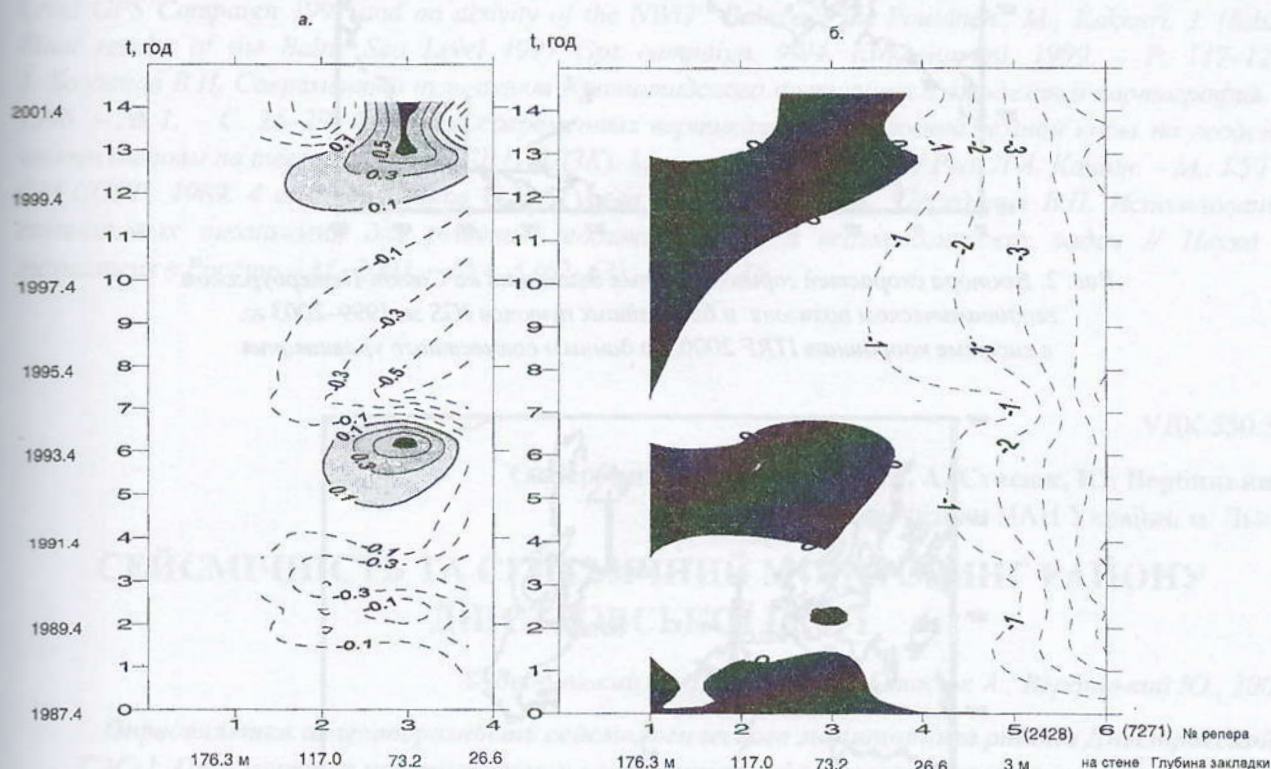


Рис. 1. Шепелево. Пространственно-временные графики вертикальных движений земной коры реперов относительно глубинного репера 1 и начальной эпохи (1987 г.) в изолиниях:

- а – для реперов 2, 3 и 4 изолинии проведены через 0.5 мм;
б – для реперов 1, 2, 3, 4, 2428 и 7271 изолинии проведены через 1 мм

Однако скорости изменений вертикальной (эллипсоидальной) составляющей перемещений (-108 и -41 мм/год) совсем не соответствуют скоростям вертикальных движений, равным -0.1 мм/год, по данным точного нивелирования.

Впервые по данным совместного уравнивания измерений 1999, 2000, 2001, 2002 и 2003 годов определены скорости горизонтальных движений для пунктов, расположенных на территории Карелии: BOTS (23.8 ± 0.5) мм/год по направлению 73° СВ, GIRS (23.5 ± 0.6) мм/год по направлению 73° СВ, MELO (25.3 ± 0.1) мм/год по направлению 70° СВ, VALM (26.8 ± 0.2) мм/год по направлению 69° СВ. Вертикальная составляющая движений от 3.5 мм/год до 18.7 мм/год, полученная по данным GPS-измерений, значительно отличается от скоростей вертикальных (около 1 мм/год), полученных по данным геометрического нивелирования (рис. 3).

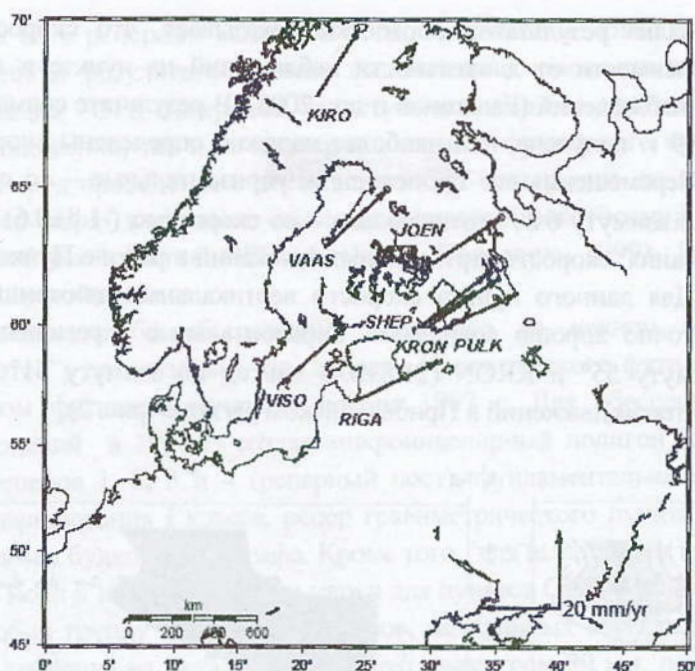


Рис. 2. Вектора скоростей горизонтальных движений на Санкт-Петербургском геодинимическом полигоне и ближайших пунктов IGS за 1999–2003 гг. в системе координат ITRF 2000, по данным совместного уравнивания

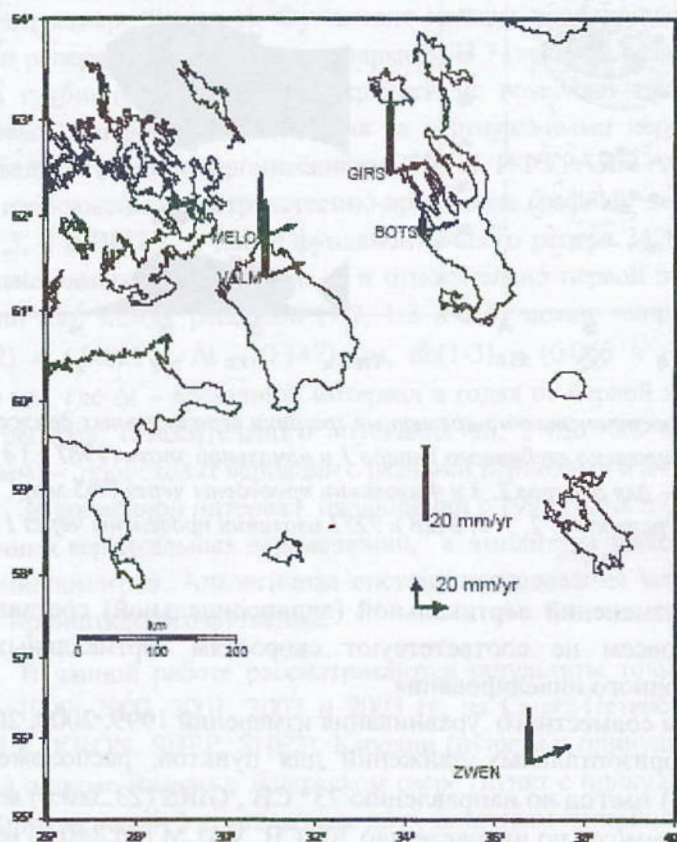


Рис. 3. Карелия. Вектора скоростей движений и их ошибки: горизонтальные (стрелки и эллипсы), вертикальные (вертикальные линии: толстые – скорости, тонкие – ошибки) – за 1999–2003 гг.

Таким образом, в результате выполнения ежегодных повторных GPS-измерений и нивелирования в Балтийско-Ладожском регионе надежно определены скорости горизонтальных движений восьми пунктов. Горизонтальные перемещения со средней скоростью пунктов: на берегу Финского залива – 22.3 мм/год по направлению 57° СВ, в Карелии – 24.8 мм/год по направлению 71° СВ. При общей тенденции перемещения пунктов на северо-восток зафиксировано увеличение восточной компоненты и ускорение движений пунктов, расположенных в Карелии. Несмотря на то, что измерению вертикальной составляющей движений уделялось особое внимание, нельзя утверждать о надежности ее определения.

1. Абалакин В.К., Богданов В.И., Буланже Ю.Д., Медведев М.Ю. и др. Изменения уровня Балтийского моря по наблюдениям с 1977 г. на Кронштадском футштоке. ДАН. – 1998. – Т. 359. – № 2. – С. 249–250. 2. Abalakin V.K., Bogdanov V.I. Report on participation of Russia in the third Baltic Sea Level GPS Campaign 1997 and on activity of the NWG "Baltica". In: Poutanen., M., Kakkuri, J. (Eds.), *Final results of the Baltic Sea Level 1997 Gps campaign*. 99/4. Kirkkonummi, 1999. – P. 117–126. 3. Богданов В.И. Современный нуль-пункт Кронштадского футштока // Геодезия и картография. – 1996. – № 1. – С. 26–29. 4. Карта современных вертикальных движений земной коры по геодезическим данным на территорию СССР (СВДЗК). Масштаб 1:5 000 000 // Ред. Л.А. Кащин. – М.: ГУГК СМ СССР, 1989. 4 с. 5. Галаганов О.Н., Гусева Т.В., Мишин А.В., Передерин В.П. Использование спутниковых технологий для решения геодинамических и геоэкологических задач // Наука и технология в России. – М., 2003. – № 4–5 (62–63). – С. 12–16.