

УДК 528.063.1+551.24

Институт прикладной астрономии РАН  
Кандидат физ.-мат. наук *Н. А. Панафидина*  
Доктор физ.-мат. наук *З. М. Малкин*

## **ОПРЕДЕЛЕНИЕ СКОРОСТЕЙ ЕВРОПЕЙСКИХ GPS-СТАНЦИЙ**

### ***1. Введение***

Европейский регион является одним из наиболее интенсивно изучаемых районов Земли с точки зрения региональной геодинамики. Здесь с начала 1990-х годов ведутся непрерывные наблюдения на постоянных GPS-станциях. В рамках Международной ассоциации геодезии (IAG) эту программу координирует подкомиссия EUREF по европейской системе координат комиссии X по региональным системам координат. Для лучшей организации работ и большей доступности результатов для пользователей в 1995 г. была создана европейская GPS-сеть EPN (EUREF Permanent Network) [1]. Сеть EUREF также является региональным уплотнением глобальной GPS-сети Международной службы глобальных навигационных спутниковых систем (IGS). В 1995 г. в сети участвовало около 30 GPS-станций, в настоящее время их число превышает 180. В состав сети EUREF помимо европейских станций входят также ассоциированные станции, расположенные в смежных регионах и включенные в европейскую сеть для изучения движения евразийской тектонической плиты относительно соседних.

Одним из наиболее интересных приложений наблюдений сети EUREF является исследование взаимных перемещений блоков евразийской тектонической плиты, на которой расположена основная часть станций сети EUREF. Такое исследование можно сделать на основе анализа скоростей станций.

Наблюдаемые скорости GPS-станций связаны непосредственно с местными, региональными и глобальными (тектоническими) движениями земной коры, которые, собственно, и представляют собой геофизический сигнал, который подлежит изучению. При отсутствии посторонних воздействий, эта скорость представляет собой движение геологической структуры. К сожалению, в действительности некоторые эффекты нарушают геофизический сигнал. Искажения могут вызываться с одной стороны недостатками используемой опорной системы координат, методом обработки наблюдений, влиянием конфигурации сети станций, сменами оборудования на станции, а с другой стороны недоучтенными геофизическими эффектами, такими как нагрузка от снега, льда, воды, атмосферы. В настоящей работе мы получили новое решение для скоростей европейских GPS-станций, свободное от влияния причин первой группы.

## *2. Скорости станций сети EUREF*

Для определения скоростей станций мы использовали длительные систематически однородные ряды координат, полученные в [2]. В этих рядах, в отличие от официальных решений EUREF, удалены искажения, вызываемые используемым центрами обработки EUREF методом обработки с жесткими ограничениями на координаты опорных станций, и скачки, обусловленные последовательной сменой реализаций глобальной системы координат ITRF. Скачки, вызываемые сменой оборудования на станциях, необходимо оценивать и удалять отдельно перед определением скоростей станций.

Примером станции со значительным скачком в координатах, вызванным сменой оборудования, может служить станция PFAN (Брегенц, Австрия). На рис. 1 показаны ряды координат этой станции, полученные из решения [2]. Величина скачка в вертикальном направлении была оценена в  $-46.6 \pm 1$  мм, что хорошо согласуется со значением, полученным в рамках специального проекта EUREF «Time Series Monitoring» [3], равным  $-48.0$  мм.

Координаты станций могут также показывать скачки, вызванные землетрясениями. Примером видимого тектонического движения в рядах координат станций могут служить координаты станции ANKR (Анкара, Турция). Эта станция показывает нелинейное движение в восточном направлении, вызванное, вероятнее всего, землетрясением в 1999 г. (GPS-неделя 1020) в районе г. Измит. На рис. 2 показаны ряды координат этой станции. Тектоническое влияние на нелинейное поведение станции ANKR подтверждают также наблюдения на станциях TUBI и ISTA (Турция), начавших работать с GPS-недель 1022 и 1047 соответственно. Их ряды координат также показывают схожие нелинейные изменения скорости в восточном направлении. Однако в основном станции европейской GPS-сети расположены достаточно далеко от эпицентров землетрясений, и их координаты не показывают скачков, вызванных этой причиной.

В данной работе были определены и учтены скачки в рядах координат станций, после чего методом наименьших квадратов были получены линейные скорости станций. Для исключения основных сезонных эффектов линейные скорости станций определялись совместно с годовыми вариациями координат. Для получения более надежных результатов скорости оценивались только для станций, наблюдавших не менее 3 лет. Таких станций оказалось более 130.

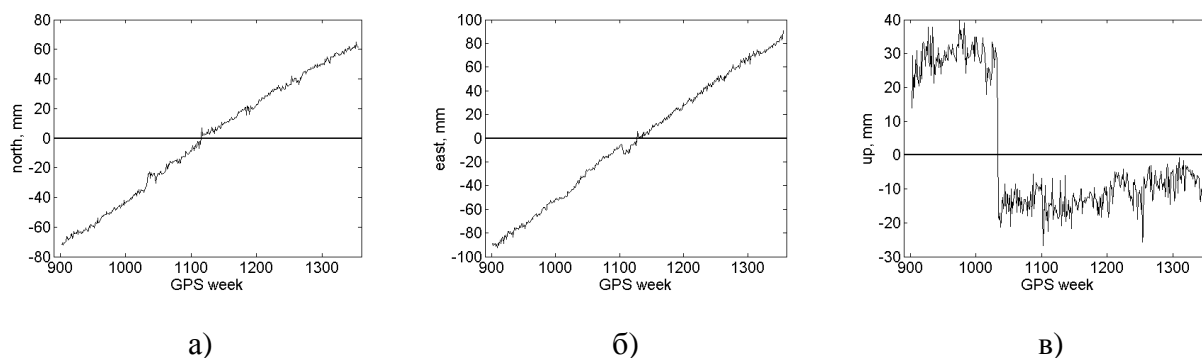


Рис. 1. Станция PFAN (Австрия): а) северная составляющая; б) восточная составляющая; в) вертикальная составляющая.

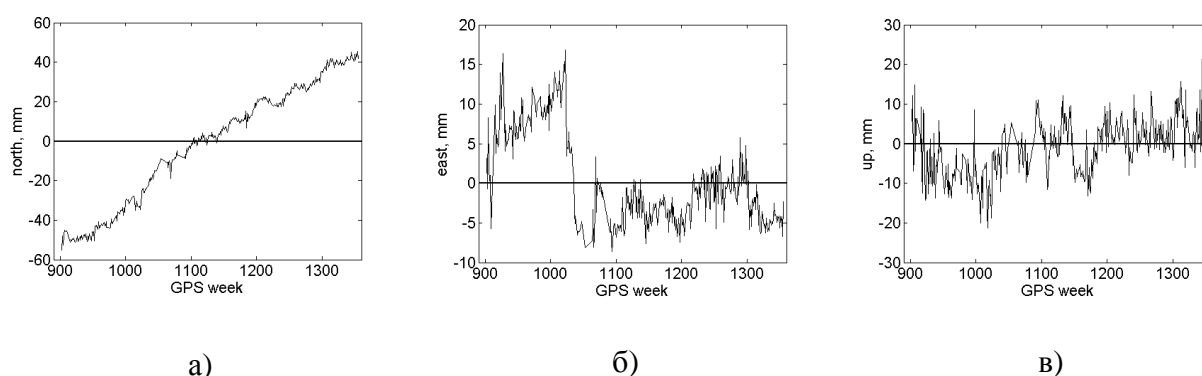


Рис. 2. Станция ANKR (Турция): а) северная составляющая; б) восточная составляющая; в) вертикальная составляющая.

На рис. 3 приведены горизонтальные скорости станций сети EUREF, а также границы тектонических плит. Для сравнения полученных скоростей с геологическими данными на рис. 4 приводятся скорости станций по отношению к модели NNR-NUVEL-1A [4]. Как видно из рис. 4, в основном скорости европейских станций совпадают с геологической моделью NNR-NUVEL-1A на уровне 1-2 мм/год. Однако скорости некоторых станций заметно отличаются от модельных значений. В основном такие станции расположены либо не на евразийской плите, либо близко к границе тектонических плит. Например, скорости станций ANKR, KELY, QAQ1, REYK показывают значительные расхождения (до 2 см/год) с моделью NNR-NUVEL-1A для евразийской плиты, так как расположены на других плитах. Станции, расположенные в зоне Средиземноморья близко к границам тектонических блоков (например, LAMP, NOT1, MATE), где идут активные геологические процессы, также показывают заметное расхождение скоростей с моделью. Также заметно характерное движение отдельных блоков евразийской плиты, в первую очередь Скандинавии и Аппенинского полуострова. В районе последнего сейчас даже принято выделять отдельную адриатическую тектоническую плиту.

На рис. 5 представлены вертикальные скорости станций. Видно, что для большинства станций континентальной части европейского региона вертикальная скорость отрицательна. В то же время в Скандинавии вертикальные скорости всех станций положительны, что может быть объяснено эффектом послеледникового поднятия. Также можно заметить, что вертикальные скорости некоторых станций, как расположенных вблизи границ тектонических плит, так и достаточно далеко от них, имеют аномальные значения, отличающиеся от скоростей соседних станций. Одной из вероятных причин этих аномалий могут быть местные поднятия или проседания земной коры, которые могут вызываться многими причинами. Достаточно распространенной причиной аномальной вертикальной скорости также является нестабильность фундамента, на котором расположена GPS-антенна. Это может вызываться, например, недостаточной глубиной закладки наземного фундамента или просадкой здания, на крыше которого расположена антенна (довольно распространенный случай установки GPS-станций).

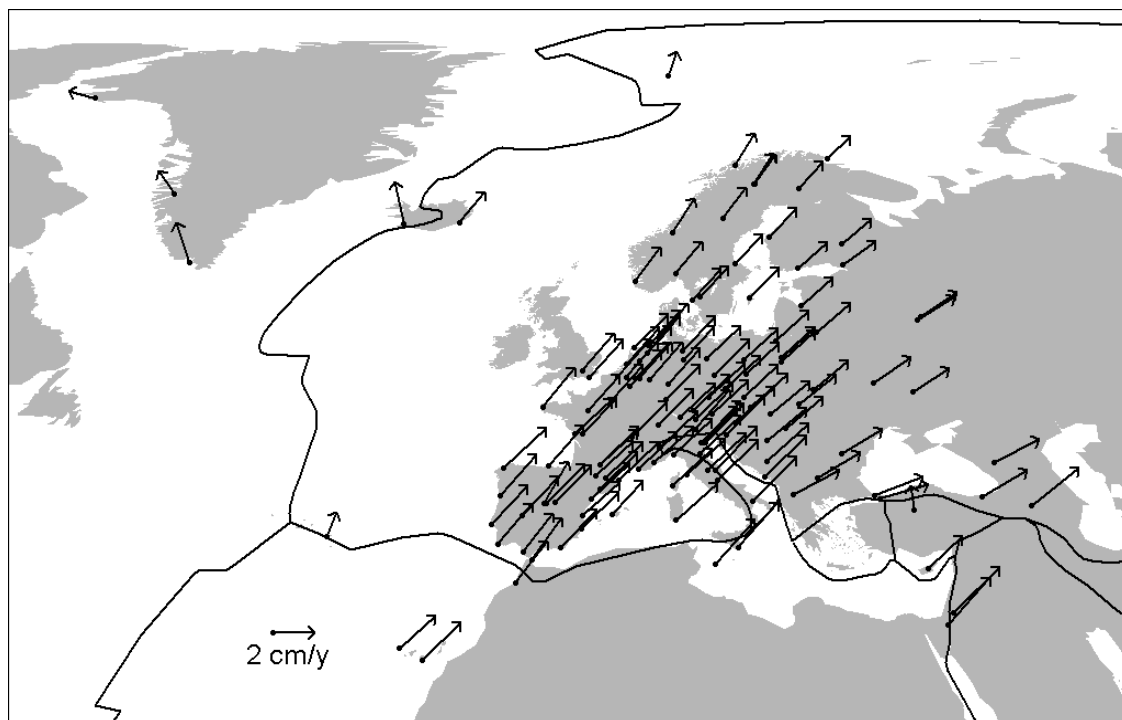


Рис. 3. Горизонтальные скорости станций сети EUREF.

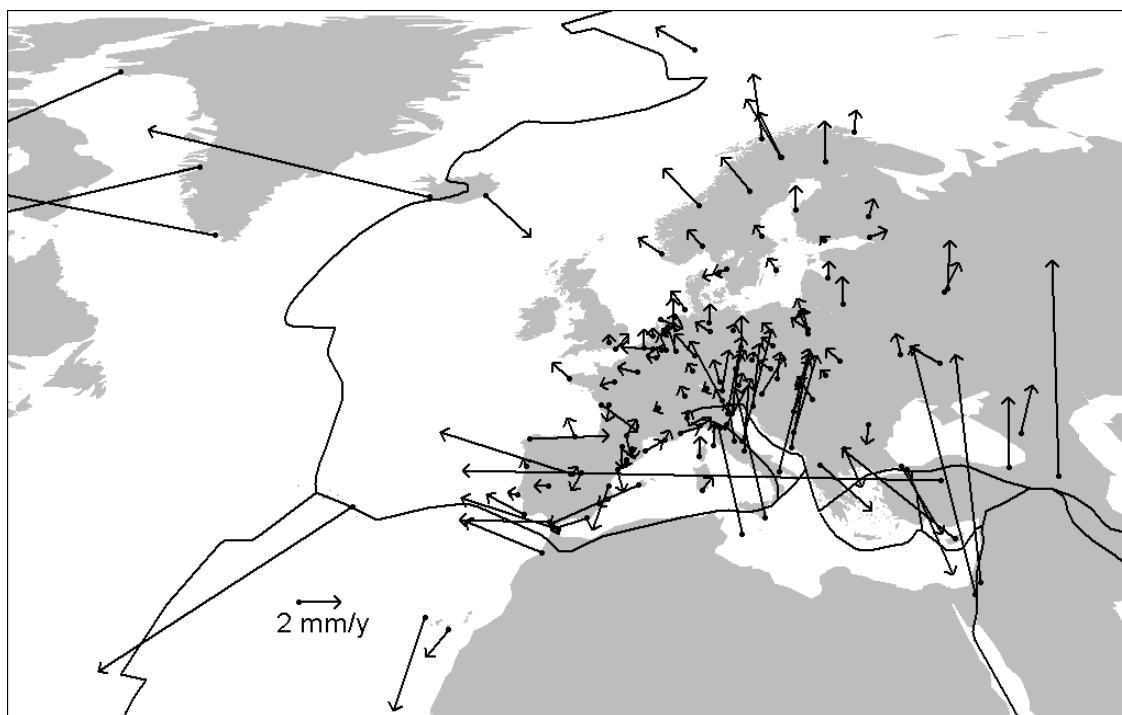


Рис. 4. Горизонтальные скорости станций сети EUREF относительно модели NNR-NUVEL-1A для евразийской плиты.

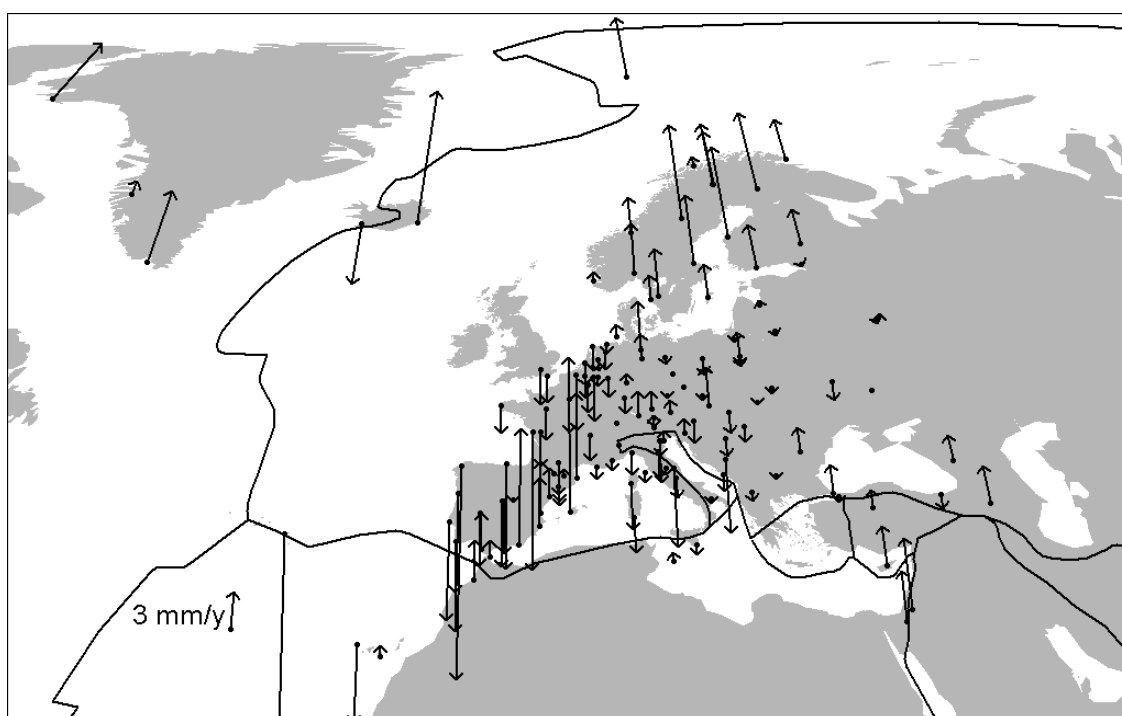


Рис. 5. Вертикальные скорости станций сети EUREF.

### 3. Заключение

В работе получено новое решение для скоростей более 130 европейских GPS-станций, входящих в сеть EUREF. Для этого обработаны длительные

систематически однородные ряды координат станций, полученные авторами [2]. В этих рядах удалены искажения, вызываемые используемым центрами обработки EUREF методом обработки с жесткими ограничениями на координаты опорных станций, и скачки, вызываемые последовательной сменой реализаций глобальной системы координат ITRF. В окончательном решении удалены также скачки, вызываемые сменой оборудования на станциях и другими причинами, а также учтены сезонные изменения координат станций с годовым периодом.

Учитывая, что движения тектонических блоков постоянны во времени на таких малых интервалах времени, можно отделить сезонные вариации в положении станций. Локальные эффекты на станциях можно контролировать путем сравнения с поведением станций, расположенных рядом. Дополнительный материал для изучения локальных эффектов дает сравнение результатов, полученных разными средствами наблюдений, например GPS и РСДБ (радиоинтерферометрия со сверхдлинными базами) [5].

Даже первое качественное изучение полученных результатов показывает, что они дают богатый материал для геодинамических исследований в европейском регионе, в частности, для выделения и изучения взаимного движения блоков евразийской тектонической плиты, в первую очередь Скандинавии и Адриатики. Соответствующий более детальный анализ будет продолжен в дальнейшем.

## ЛИТЕРАТУРА

1. *Bruninx C.* The EUREF Permanent Network: a multi-disciplinary network serving surveyors as well as scientists // *GeoInformatics*, 2004. Vol. 7, P. 32–35
2. *Панафидина Н. А., Малкин З. М.* Комбинированное решение для координат станций европейской GPS-сети // *Известия. вузов. Геодезия и аэрофотосъемка*, 2007, № 5, С. 21-30
3. [http://www.epncb.oma.be/\\_organisation/projects/series\\_sp/index.php](http://www.epncb.oma.be/_organisation/projects/series_sp/index.php)
4. *Argus D. F., Gordon R. G.* No-Net-Rotation Model of Current Plate Velocities Incorporating Plate Motion Model Nuvel-1 // *Geophys. Res. Lett.*, 1991, 18, P. 2038-2042.
5. *Малкин З. М., Панафидина Н. А., Скурихина Е. А.* Вариации длин баз между европейскими станциями по GPS- и РСДБ-наблюдениям // *Тр. ИПА РАН*, 2004, вып. 11, С. 3-13.

## *Реферат*

УДК 528.063.1+551.24

### **Определение скоростей европейских GPS-станций.**

П а н а ф и д и н а Н. А., М а л к и н З. М. «Известия вузов. Геодезия и аэрофотосъемка», 2006, № ....

В работе получены скорости более 130 европейских GPS-станций по наблюдениям сети EUREF на интервале 1997–2005 гг. Для этого использованы однородные ряды координат станций в системе ITRF2000, полученные комбинацией недельных решений отдельных центров анализа сети EUREF. Скачки в координатах станций были оценены и учтены, затем были получены скорости станций с одновременным учетом сезонной составляющей. Сравнение полученных результатов со скоростями станций, полученными по геологической модели NNR-NUVEL-1A показывает хорошее согласие на уровне 1–2 мм/год для большинства станций, однако для станций, расположенных близко к границам геологических блоков, расхождение с моделью оказывается гораздо большим. Также отмечено относительное движение отдельных блоков евразийской тектонической плиты. Библ. 5.