

Влияние атмосферной нагрузки на координаты и скорости ГНСС-станций

З.М.Малкин

Главная (Пулковская) астрономическая обсерватория РАН, Санкт-Петербург

e-mail: malkin@gao.spb.ru

Определение координат и скоростей станций по наблюдениям ИСЗ глобальных навигационных спутниковых систем GPS и ГЛОНАСС (ГНСС) является в настоящее время одним из основных методов создания отечественной геоцентрической системы координат (ГСК) и основным методом ее уплотнения. При этом ставится задача создания ГСК, не уступающей по точности международной системе ITRF. Для этого необходимо добиваться точности координат пунктов ФАГС и ВГС на уровне первых миллиметров с учетом ошибок определения их скоростей. Такие точностные характеристики ГСК достигаются путем совершенствования аппаратуры и методики наблюдений, а также алгоритмов и программного обеспечения (ПО) для их обработки. Современной тенденцией в развитии ПО для обработки ГНСС-наблюдений является учет все более тонких редукций, позволяющих моделировать движение станций с точностью 1 мм и лучше. В то же время до сих пор при обработке ГНСС-наблюдений редко учитывается один из геофизических эффектов, атмосферная нагрузка, который может приводить к систематическим изменениям координат станций на несколько сантиметров. Рассмотрению этого вопроса посвящена настоящая работа.

Точный расчет влияния атмосферной нагрузки на положение станций представляет собой сложную физическую и техническую задачу, для решения которой необходимо привлекать данные глобального метеорологического мониторинга и теории строения и взаимодействия земли, атмосферы и океана. В настоящее время в мире работают два основных центра расчета смещения геодезических станций от атмосферной нагрузки: Геофизическое бюро Международной службы вращения Земли и опорных систем координат (IERS) [1] и Годдардовский центр космических полетов (GSFC) НАСА, США [2]. В обоих центрах вычисляются данные как для всех станций международных сетей РСДБ, GPS, SLR и DORIS, так и для узлов координатной сетки $2.5 \times 2.5^\circ$ для всей поверхности Земли. Вследствие различий в используемых метеорологических данных и физических теориях смещения станций, вычисляемые в центрах IERS и GSFC, могут различаться до нескольких миллиметров. В настоящей работе использованы данные GSFC.

В табл. 1 представлены статистические характеристики влияния атмосферной нагрузки на координаты пунктов для 17 российских станций, входящих в международную сеть IGS

(International GNSS Service), за три года 2005–2007. Станции, на которых происходили замены оборудования: NOVJ/NOVM, YAKA/YAKT, ZWEN/ZWE2, считались за одну станцию. В таблице приведены данные по трем составляющим местной системы координат: восточной (E), северной (N) и вертикальной (H). В таблице также приведена амплитуда сезонного члена с годовым периодом в изменении высот станций A_H . Амплитуда сезонного члена для горизонтальных координат не превосходит 1.5 мм. Кроме годовой составляющей наблюдается также полугодовой член, амплитуда которого меньше 2 мм для высоты и 0.4 мм для горизонтальных координат.

Таблица 1. Влияние атмосферной нагрузки на координаты станций

Станция	Расположение	Размах, см			A_H , см	C, мм/мбар	
		E	N	H		ГАО	IERS
ARTU	Арти	-0.2 – 0.2	-0.3 – 0.4	-2.4 – 2.0	0.6	-0.65	
BILI	Билибино	-0.3 – 0.3	-0.3 – 0.3	-1.8 – 1.1	0.2	-0.41	
IRKJ	Иркутск	-0.2 – 0.3	-0.3 – 0.4	-2.0 – 1.6	0.7	-0.62	-0.61
KHAJ	Хабаровск	-0.3 – 0.3	-0.3 – 0.3	-1.3 – 1.3	0.4	-0.50	
KSTU	Красноярск	-0.2 – 0.2	-0.3 – 0.4	-2.4 – 1.8	0.8	-0.65	-0.48
MAGO	Магадан	-0.3 – 0.3	-0.3 – 0.3	-1.3 – 0.9	0.2	-0.25	-0.39
MDVJ	Менделеево	-0.2 – 0.3	-0.3 – 0.3	-2.2 – 2.2	0.4	-0.58	-0.46
MOBN	Обнинск	-0.2 – 0.3	-0.3 – 0.3	-2.1 – 2.1	0.4	-0.59	
NOVJ	Новосибирск	-0.2 – 0.3	-0.3 – 0.4	-2.6 – 2.0	0.8	-0.65	
NRIL	Норильск	-0.2 – 0.3	-0.2 – 0.3	-2.5 – 1.7	0.5	-0.53	
NVSK	Новосибирск	-0.2 – 0.3	-0.3 – 0.4	-2.6 – 2.0	0.8	-0.67	
PETP	Петропавловск	-0.3 – 0.3	-0.4 – 0.3	-0.7 – 0.8	0.1	-0.14	-0.13
SVTL	Светлое	-0.3 – 0.3	-0.3 – 0.3	-2.3 – 2.2	0.3	-0.51	
TIXI	Тикси	-0.2 – 0.4	-0.3 – 0.2	-1.9 – 1.2	0.4	-0.37	
YAKT	Якутск	-0.2 – 0.3	-0.3 – 0.3	-2.4 – 1.5	0.6	-0.53	-0.47
ZECK	Зеленчукская	-0.2 – 0.2	-0.3 – 0.3	-1.5 – 1.3	0.5	-0.58	-0.42
ZWEN	Звенигород	-0.2 – 0.3	-0.3 – 0.3	-2.1 – 2.2	0.4	-0.49	-0.46

Примеры изменения высот трех станций приведены на рис. 1. PETP и NVSK являются станциями с минимальным и максимальным сезонным влиянием атмосферной нагрузки, SVTL является примером станции с большим, но нерегулярным изменением высоты. Для изменения горизонтальных координат также можно выделить станции с более и менее выраженной сезонной составляющей, то их амплитуда в несколько раз меньше по сравнению с изменением вертикальных координат (см. табл. 1). Из приведенных данных можно видеть, что изменение высоты станции из-за атмосферной нагрузки может достигать 3 см, а изменение горизонтальных координат 5 мм. Такие смещения необходимо учитывать при проведе-

нии наблюдений на временных пунктах, например, если наблюдения проводятся сессиями длительностью от нескольких дней до нескольких недель, если требуемая точность координат такого пункта составляет порядка 1 см и лучше.

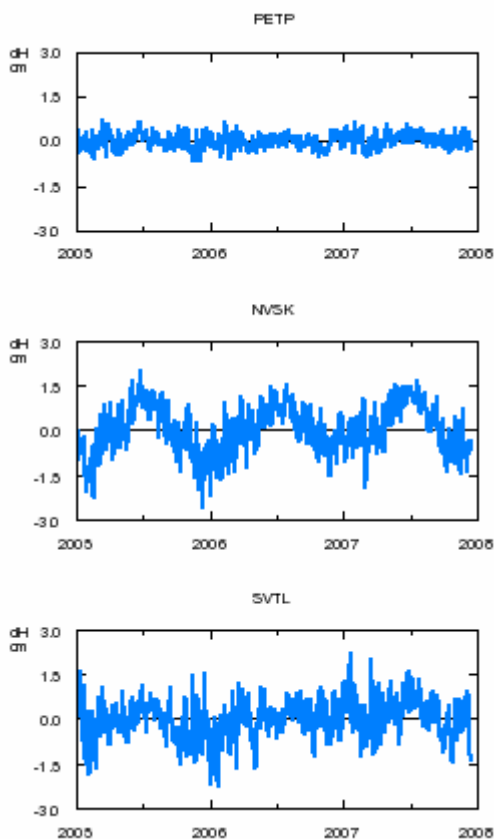


Рис. 1. Изменение высот станций от атмосферной нагрузки, см

В последней колонке табл. 1 приведены коэффициенты линейной регрессии зависимости изменения высоты станции от атмосферного давления $dH = C (P - P_0)$, где dH – изменение высоты станции в мм, P и P_0 измеренное в момент наблюдений и среднее атмосферное давление на станции в мбар. В колонке «ГАО» приведены значения C , вычисленные в настоящей работе для всех российских станций за трехлетний интервал 2005–2007 гг. В колонке «IERS» приведены коэффициенты, вычисленные в Геофизическом бюро IERS [1]. Ошибка всех значений находится на уровне единицы последнего знака и меньше.

Как видно из приведенных данных, в некоторых случаях коэффициенты регрессии, вычисленные в ГАО и IERS, заметно различаются. Однако тестовые вычисления показывают, что эти различия приводят к разнице вычисленных значений dH , не превышающей нескольких миллиметров даже при экстремальных значениях атмосферного давления $P - P_0 > 30$ мбар. В то же время, разница в изменении высоты станции между регрессионной и точной моделями может превышать 1 см независимо от атмосферного давления в пункте наблюде-

ний. Таким образом, регрессионная модель может обеспечить учет атмосферной нагрузки только для тех случаев, когда достаточна точность координат пункта на уровне 1 см.

Пример представления изменения высоты станции регрессионной моделью приведен на рис. 2. Применение регрессионной модели позволяет в несколько раз уменьшить влияние атмосферной нагрузки на координаты и скорости станций. Но для достижения максимальной точности ГСК представляется необходимым учитывать этот эффект по точным вычислениям, особенно для станций ФАГС и ВГС.

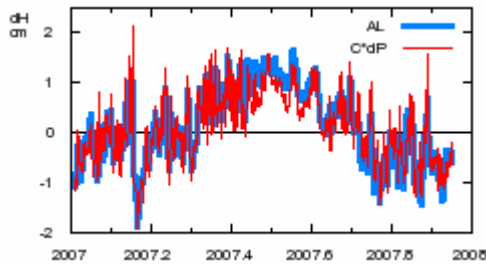


Рис.2. Представление изменений высоты регрессионной зависимостью

Более детальный анализ рядов атмосферной нагрузки показывает, что кроме сезонного члена в изменениях высот станций присутствует также заметный суточный член, величина которой зависит от географического региона. На рис. 3, заимствованном из работы [3], показано распределение размаха суточного колебания атмосферной нагрузки по земному шару. Из рисунка, в частности, видно, что для территории России характерны большие суточные колебания высот станций, что может оказывать влияние на результаты некоторых видов геодезических съемок, если требуемая точность превышает 1 см. В последнем случае для уменьшения ошибки можно рекомендовать длительность наблюдательных сессий, равную целому числу суток.

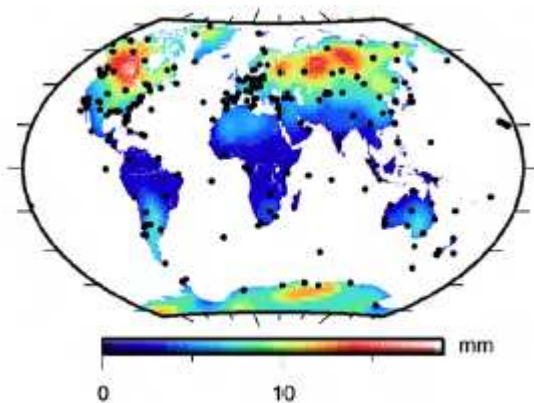


Рис. 3. Размах внутрисуточных изменений атмосферной нагрузки

Значительные и нерегулярные изменения координат станций, обусловленные атмосферной нагрузкой, если не производится их учет при обработке наблюдений, вызывают также ошибки скоростей. В табл. 2 приведены результаты вычисления максимального влияния атмосферной нагрузки на скорости станций в вертикальном и горизонтальном направлениях для непрерывных наблюдений различной длительности. Данные таблицы показывают, что только длительные ряды наблюдений продолжительностью больше 6 лет могут обеспечить современные требования к скорости фундаментальных станций на уровне 1 мм/год, если при обработке наблюдений не был произведен учет атмосферной нагрузки.

Таблица 2. Влияние атмосферной нагрузки на скорости станций, мм/год

Компонента скорости	Интервал наблюдений, год					
	1	2	3	5	7	10
dV(верт) макс	19.0	6.9	3.6	1.4	0.7	0.5
dV(гор) макс	7.6	2.9	1.0	0.4	0.2	0.1

Характерной особенностью влияния атмосферной нагрузки является то, что этот эффект влияет непосредственно на координаты станций. Это открывает возможность редукции за это влияние старых наблюдений. Для этого достаточно ввести изменения координат станций за атмосферную нагрузку в имеющиеся результаты обработки наблюдений.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Геофизическое бюро IERS, <http://www.sbl.statkart.no/products/>
2. Petrov L., <http://gemini.gsfc.nasa.gov/aplo/aplo.html>.
3. Tregoning P, van Dam T. Atmospheric pressure loading corrections applied to GPS data at the observation level // Geophysical Research Letters. – 2005. – V. 32. – № 22. – P. L22310.