

**ОЦЕНКА ПОГРЕШНОСТЕЙ ОПРЕДЕЛЕНИЯ КООРДИНАТ
СУДОВЫМ GPS-ПРИЁМНИКОМ SPR-1400
ВО ВРЕМЯ МАГНИТНОЙ БУРИ 15 ДЕКАБРЯ 2006 ГОДА**

При всей очевидности влияния геомагнитных возмущений на трансионосферный канал распространения радиосигналов навигационных спутников до сих пор отсутствуют исследования, посвящённые воздействию магнитных бурь на работу судовых приёмников СРНС Навстар GPS. Причин тому несколько. Отсутствие интереса к подобным исследованиям объясняется прежде всего тем, что на долю судовых приёмников приходится менее 0,1% от всего количества изготавливаемой в мире GPS-аппаратуры. Из года в год стремительно расширяется область применения приёмников системы Навстар GPS, поэтому доля изготавливаемых судовых приёмников непрерывно уменьшается. Этот факт обуславливает устранение предпосылок осуществления государственного финансирования и финансирования межведомственными организациями исследований точности судовых приёмников. После 1991 года судовладельцы вообще утратили интерес к исследованиям точности технических средств судовождения. Кроме того, в сознании штурманов-практиков прочно укоренилось необоснованное мнение об исключительной надёжности самой спутниковой системы Навстар GPS и чрезмерной точности работы её судовых приёмников.

Понятно, что для проведения исследований влияния магнитных бурь необходимы весьма продолжительные непрерывные круглосуточные экспериментальные наблюдения за тем, как изменяются получаемые от неподвижного GPS-приёмника геодезические координаты. При этом данные от приёмника должны автоматически заноситься на жёсткий диск компьютера. Здесь также не-

¹ Морской государственный университет им. адм. Г.И. Невельского. Владивосток, komarovskiy@msun.ru

обходимы алгоритмы и компьютерные программы для оперативного анализа получаемых от приёмника данных для своевременного обнаружения ситуации, которую можно отнести к проявлению геомагнитного возмущения. Подобные исследования необходимо сопровождать параллельным мониторингом на геомагнитных станциях, фиксирующих текущую напряжённость магнитного поля Земли.

Важную роль в исследованиях влияния магнитных бурь играют технико-эксплуатационные характеристики судового GPS-приёмника. К таким характеристикам прежде всего относятся чувствительность входной части приёмника, алгоритм вычисления геодезических координат и разрядность представления геодезических координат (широты, долготы и возвышения антенны над поверхностью геоида).

Нельзя сказать, что исследования влияния геомагнитных возмущений на работу GPS-приёмников вообще не проводились. Напротив, геодезическая GPS-аппаратура оказалась в значительной степени подвержена воздействию магнитных бурь. Дело в том, что геодезические приёмники определяют псевдорасстояния до навигационных спутников путём измерения разности фаз несущей частоты. Поэтому любые возмущения в трансионосферном канале неизбежно вызывают в конечном итоге погрешности получаемых координат и даже длительные перерывы в сопровождении сигналов спутников. Этой проблеме посвящено много работ зарубежных и отечественных исследователей, среди которых надо отметить фундаментальные труды, выполненные в Институте солнечно-земной физики СО РАН коллективом учёных под руководством Э. Л. Афраймовича [1–6]. В результате исследований этого коллектива было обнаружено, что двухчастотные геодезические приёмники весьма чувствительны к геомагнитным возмущениям и мерцаниям ионосферы. В диссертационной работе Т. Н. Кондаковой [7] показано, что сферическая средняя квадратическая погрешность (СКП) обсервованных координат во время магнитных бурь достигает ± 200 м, а количество погрешностей, у которых сферическая СКП превышала ± 500 м, доходило до четырёх на 30-минутных интервалах.

Судовые GPS-приёмники принципами своей работы отличаются от геодезических. Судовые навигационные приёмники являются

одночастотными. Они принимают сигналы спутников только в гражданском режиме передачи данных (режим SPS) по каналу связи L1, который имеет полосу частот 1563,42 МГц–1587,42 МГц со средней частотой 1575,42 МГц (длина волны 19 см). Приёмники определяют псевдодальности до навигационных спутников, используя так называемые кодовые измерения времени распространения сигналов от спутников до антенны приёмника. Такой способ измерения времени распространения сигнала намного грубее фазового, техническая точность которого достигает 1,9 мм. Однако кодовый способ обладает большей помехоустойчивостью, а поэтому от судовых приёмников следует ожидать меньших погрешностей в обсервованных координатах во время геомагнитных возмущений.

Осенью 2006 года в лаборатории радионавигационных приборов кафедры технических средств судовождения Морского государственного университета им. адм. Г. И. Невельского для учебных целей был установлен новый судовой GPS-приёмник SPR-1400. Он изготавливается компанией Samsung ENC Co., Ltd. в Республике Корея. В период с 7 ноября по 28 декабря 2006 года автором были предприняты многочисленные эксперименты, связанные с оценкой ряда технико-эксплуатационных характеристик этого приёмника. К сожалению, по техническим причинам с вечера пятницы до утра понедельника приёмник отключался. Были также перерывы в наблюдениях из-за отключения электроэнергии. Во время экспериментов выход приёмника SPR-1400 подключался к ноутбуку, куда ежесекундно записывались время обсервации по шкале UTC, широта и долгота с разрядностью 0,0001 угловой минуты, возвышение антенны над геоидом с разрядностью 1 м и дополнительная информация в виде предложений стандарта NMEA 0183.

Наблюдения в декабре частично совпали с магнитной бурей, которой предшествовал мощный всплеск радиоизлучения Солнца, зарегистрированный на длине волны 10,7 см радиотелескопом РТ-2 Уссурийской астрофизической обсерватории (УАФО). Всплеск радиоизлучения Солнца начался приблизительно в 02:45 по шкале UT 13 декабря 2006 года. Максимальное значение радиопотока составило 21700 СЕП. Длится этот всплеск около 180 мин. В это же время в хромосоме Солнца наблюдалась вспышка балла 3b [8]. 14 де-

кабря в 11:12 по шкале UT магнитной станцией УАФО было зарегистрировано начало магнитной бури.

До конца действия магнитной бури сделать запись координат от приёмника SPR-1400 не удалось, так как он был во включённом состоянии с 01:11 13.12.2006 (UTC) до 04:55:00 15.12.2006 (UTC). Удалось записать только начальную и среднюю фазу воздействия магнитной бури. Чтобы сравнить характер изменения координат в магнитоспокойный период времени с характером изменения координат в магнитную бурю, из этой записи были выбраны периоды с 11:00 13.12.2006 (UTC) по 04:55 14.12.2006 (UTC) и с 11:00 14.12.2006 (UTC) по 04:55 15.12.2006 (UTC). Так были сформированы два файла данных, которые далее были обработаны с целью получения средних значений и СКО за каждую минуту наблюдений по формулам, представленным для широт

$$\varphi_{cp} = \frac{\sum_{i=1}^{60} \varphi_i}{60}, \quad СКО\varphi = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{60} (\varphi_i - \varphi_{cp})^2}{60}}, \quad (1)$$

где φ – широта, i – номер секунды.

Средние значения и СКО обсервованных долгот и возвышений рассчитывались по этим же формулам.

Цель данного исследования заключается в сравнении средних значений и СКО координат за одноминутный интервал, полученных до магнитной бури и во время её. Априори предполагается, что магнитная буря средние значения координат и увеличит случайную компоненту их погрешностей.

Ранее в суточных вариациях координат автором была обнаружена повторяющаяся систематическая составляющая [9]. Поэтому вполне естественно предположить, что магнитная буря изменит характер систематической составляющей суточной вариации. Для проверки этого предположения было сделано сравнение средних значений широт в первый час первого и второго файлов. Графики этого сравнения представлены на левой панели рис. 1. На нём жирной сплошной линией изображено часовое изменение средних зна-

чений обсервованных широт в магнитоспокойный период, а тонкой линией – во время магнитной бури. По оси ординат отложены дробные части угловой минуты широты.

Так как период обращения спутников СРНС Навстар GPS равен 12 часам звёздного времени, то по среднему солнечному времени через каждые сутки спутники занимают на небесной сфере то же самое положение на 4 минуты раньше [10]. Поэтому для синхронизации средние значения широты магнитоспокойного периода были сдвинуты относительно данных в магнитную бурю на 4 минуты назад по шкале времени. Результаты сдвига представлены на правой панели рис. 1. На нём прослеживается практически полное совпадение средних значений широты, что позволяет сделать вывод о том, что, либо магнитная буря не искажает систематическую суточную вариацию широты, либо на начальной стадии развития магнитной бури такое воздействие отсутствует.

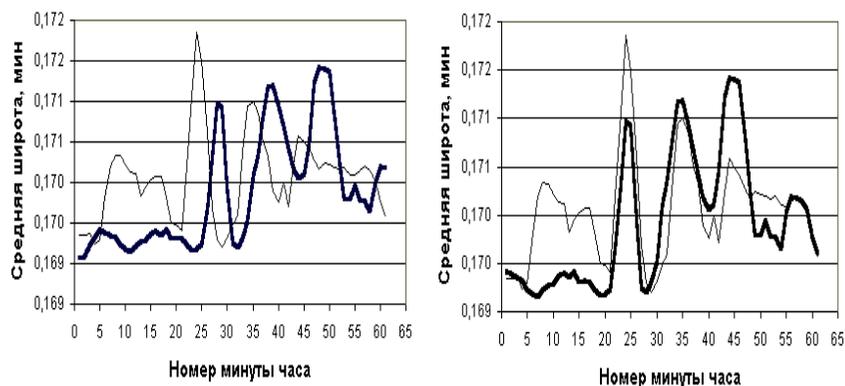


Рис. 1. Графики изменения средних широт в первый час наблюдений

Чтобы проверить такие предположения, далее сравнивались между собой синхронные средние значения широт за 6-й и за 17-й час наблюдения. Результаты сравнений представлены на рис. 2. Нё нам на левой панели изображены графики средних широт за 6-й час наблюдений, а на правой панели – за 17-й час наблюдений. На рис. 2 жирной сплошной линией изображено часовое изменение средних значений обсер-

вованных широт в магнитоспокойный период, а тонкой линией – во время магнитной бури.

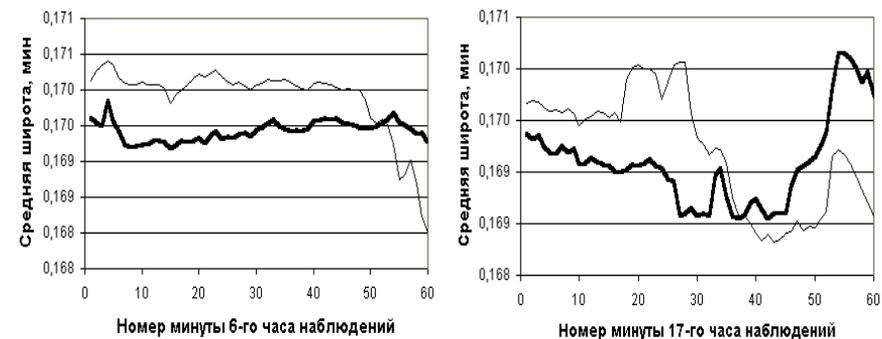


Рис. 2. Графики изменения средних широт за 6-й и 17-й час наблюдений

Сравнение графиков рис. 1 и 2 позволяет сделать вывод о значительных различиях в величинах средних широт по мере развития магнитной бури. Видно, что в последующие часы магнитной бури средние значения широт значительно отличаются от средних широт магнитоспокойного периода, а характер систематической составляющей суточного хода сильно искажается.

Чтобы сравнить между собой величины широт по каждой минуте наблюдений, предложен критерий в виде разности широт $\Delta\varphi$, выраженной в метрах,

$$\Delta\varphi_j = (\varphi_{jcp}^{(W)} - \varphi_{jcp}^{(MS)}) \times l'_m, \quad l'_m = \frac{a(1-e^2)\text{arcl}'}{\sqrt{(1-e^2 \sin^2 \varphi)^3}}, \quad (2)$$

где $\varphi_{jcp}^{(W)}$ – среднее значение широты в j -тую минуту магнитоспокойного периода, угловые минуты; $\varphi_{jcp}^{(MS)}$ – среднее значение широты в j -тую минуту периода магнитной бури, угловые минуты; l'_m – длина одной минуты меридиана в широте φ , метры; a – большая

полуось референц-эллипсоида, принятого в приёмнике СРНС Навстар GPS для расчёта геодезических координат, метры; e – первый эксцентриситет данного референц-эллипсоида; $arc1' = 0,00029088820866$ рад. Понятно, что разности широт в формуле (2) получаются после синхронизации наблюдений, а средние широты вычисляются по формуле (1).

Во время наблюдений приёмник рассчитывал obserвованные геодезические координаты в системе геодезических координат WGS-84. Её референц-эллипсоид имеет $a = 6378137$ м, $e = 0,08181919$. Таким образом, для места наблюдений $l'_m = 1851,583341$ м.

На рис. 3. представлен график изменения разности средних широт в метрах по мере развития магнитной бури.



Рис. 3. График разностей средних широт

Анализ графика рис. 3 позволяет сделать следующие выводы. Размах варьирования средних разностей широт доходит до 9 м. Прослеживается колебательный процесс изменения разности широт с пе-

риодом около 6 часов, что можно объяснить возникновением волнового процесса в ионосфере, вызванного ударным вбросом в атмосферу Земли солнечной плазмы. Так как при сравнении с магнитоспокойными сутками аналогичные средние разности широт обычно не превышают в среднем 1 м, то можно сделать однозначный вывод о явном воздействии магнитной бури на изменение obserвованных координат. Для получения более надёжных данных о влиянии магнитной бури подобные наблюдения следует выполнять на пункте высокоточной геодезической сети, поскольку сравнение с координатами магнитоспокойных периодов даёт приближённое представление. Крайне важно в будущем сопоставлять динамику изменения координат с магнитограммами.

Другим средством, способным количественно оценить характер воздействия магнитной бури на obserвованные координаты одночастотного приёмника СРНС Навстар GPS, является гистограмма распределения широт. На рис. 4 представлены гистограммы распределения широт в магнитоспокойный период (левая панель) и во время магнитной бури (правая панель).

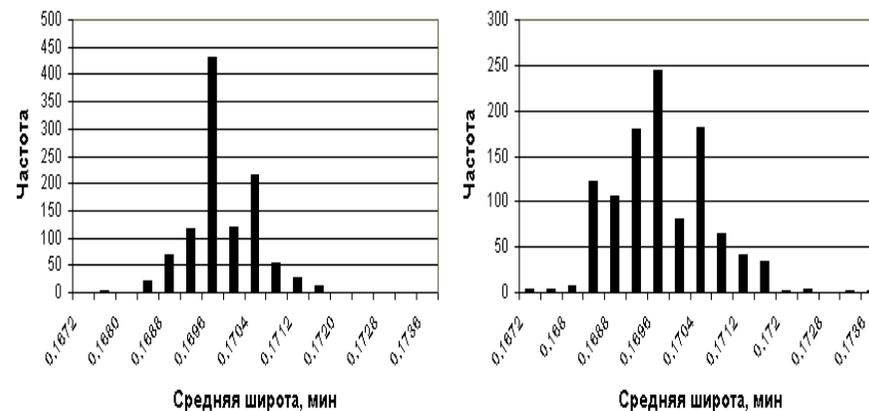


Рис. 4. Гистограммы распределения широты в магнитоспокойный период (левая) и во время магнитной бури (правая)

На левой панели рис. 4 (магнитоспокойный период) можно видеть почти симметричную гистограмму с модой 0,1696'. Гистограмма распределения в магнитную бурю (правая панель) также имеет моду 0,1696'. Но во время действия магнитной бури появились большие частоты в области малых значений средней широты, от чего гистограмма приобрела явно выраженную асимметрию.

Численные характеристики распределений осреднённых широт как случайных величин в магнитоспокойный период и в магнитную бурю помещены в табл. 1.

Таблица 1

Характеристики распределений осреднённых за 1 минуту широт

Характеристика	Магнитоспокойный период	Магнитная буря
Максимальное значение	0,1714'	0,1732'
Минимальное значение	0,1675'	0,1671'
Размах (минуты)	0,0039'	0,006181'
Размах (метры)	7,22 м	11,44 м
Среднее значение	0,1696'	0,1695'
СКО (минуты)	0,000614'	0,000881'
СКО (метры)	1,136 м	1,631 м

Из табл. 1 следует, что размах варьирования осреднённых широт увеличился почти на 4 м во время действия магнитной бури, а также произошло увеличение СКО. Во время магнитной бури средняя широта сместилась к югу от средней широты магнитоспокойного периода на 0,18 м.

На рис. 5 показано, как меняются рассчитанные за одноминутные интервалы СКО широты в магнитоспокойный период (левая панель) и во время магнитной бури. Вид графиков не позволяет сделать однозначный вывод о существенных различиях между погрешностями определения широты в магнитоспокойный период и в магнитную бурю.

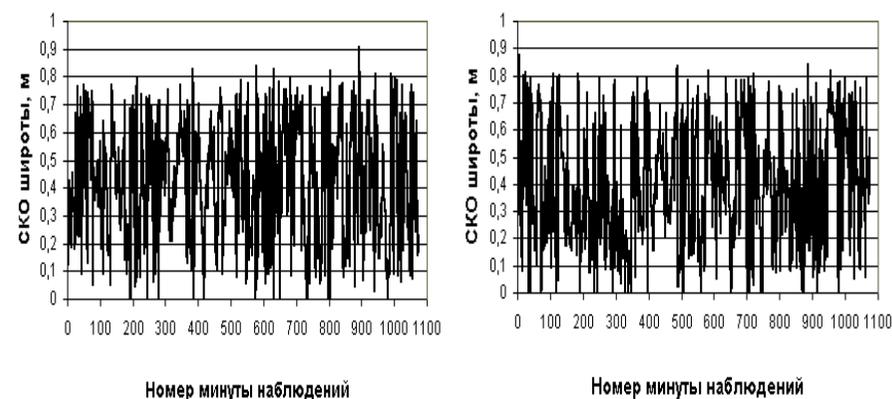


Рис. 5. Графики изменения СКО широты до магнитной бури (левая панель) и во время магнитной бури (правая панель)

Характеристики распределения СКО широты как случайных величин в магнитоспокойный период и в магнитную бурю помещены в табл. 2.

Таблица 2

Характеристики распределений СКО широт в метрах

Характеристика	Магнитоспокойный период	Магнитная буря
Минимальное значение	0	0
Максимальное значение	0,9021	0,8715
Среднее значение	0,4246	0,3951

Из табл. 2 следует, что в магнитоспокойный период средняя погрешность определения широт оказалась на 0,03 м больше, нежели во время магнитной бури. Однако эту разность вряд ли можно принять статистически значимой.

Характер изменения осреднённой за 1 минуту долготы представлен на рис. 6.

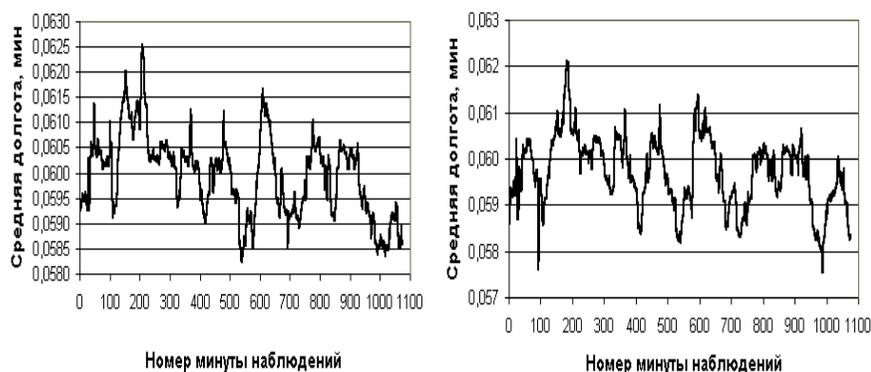


Рис. 6. Графики изменения средней долготы в магнитоспокойный период (левая панель) и во время магнитной бури (правая панель)

На рис. 6 прослеживается почти одинаковый характер изменения средней долготы в магнитоспокойный период и во время действия магнитной бури. Более полное представление о различиях даёт рис. 7, аналогичный рис. 3. Данные для него рассчитывались следующим образом:

$$\Delta\lambda_j = (\lambda_{jcp}^{(W)} - \lambda_{jcp}^{(MS)}) \times l'_p, \quad l'_p = \frac{a \times \text{ard}'}{\sqrt{1 - e^2 \sin^2 \varphi}} \times \cos \varphi, \quad (3)$$

где $\lambda_{jcp}^{(W)}$ – среднее значение широты в j -тую минуту магнитоспокойного периода, угловые минуты; $\lambda_{jcp}^{(MS)}$ – среднее значение широты в j -тую минуту периода магнитной бури, угловые минуты; l'_p – длина одной минуты параллели в широте φ , метры. Для места наблюдений $l'_p = 1356,452369$ м.

На рис. 7 видно, что размах варьирования разностей долгот не превышает 5 м. Это значительно меньше размаха варьирования разностей широт (см. рис. 3).

Характеристики распределений осреднённых долгот как случайных величин в магнитоспокойный период и в магнитную бурю помещены в табл. 3.

Таблица 3

Характеристики распределений осреднённых за 1 минуту долгот

Характеристика	Магнитоспокойный период	Магнитная буря
Максимальное значение	0,06254'	0,06211'
Минимальное значение	0,05824'	0,05754'
Размах (минуты)	0,00431'	0,00457'
Размах (метры)	5,84 м	6,19 м
Среднее значение	0,0599'	0,0597'
СКО (минуты)	0,00081'	0,00076'
СКО (метры)	1,09 м	1,03 м



Рис. 7. График разностей средних долгот

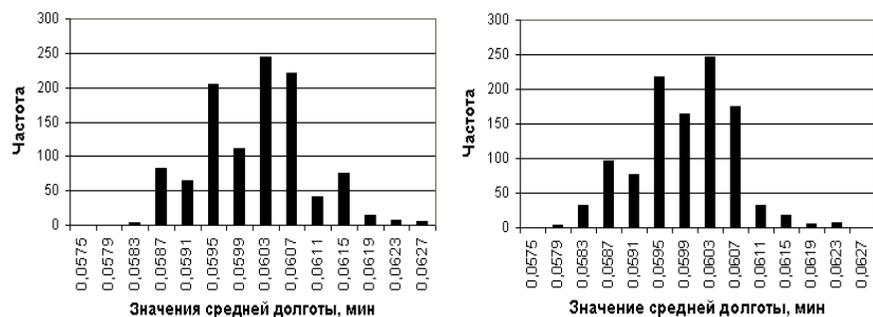


Рис. 8. Гистограммы распределения долготы в магнитоспокойный период (левая панель) и во время магнитной бури (правая панель)

Из табл. 3 следует, что размах варьирования осреднённых долгот увеличился почти на 0,35 м во время действия магнитной бури. СКО изменилось на 5 см. Этого явно недостаточно, чтобы признать существенным влияние магнитной бури на увеличение случайных погрешностей измерения обсервованных долгот. В результате действия магнитной бури среднее значение осреднённых долгот сместилось на 0,27 м к западу. Объяснением тому служит увеличение частот в магнитную бурю в левом крыле гистограммы распределения осреднённых долгот рис. 8.

Предполагается также, что процессы в ионосфере, сопровождающие геомагнитные возмущения, ухудшают точность определения GPS-приёмниками возвышения антенны над поверхностью геоида. Для проверки такого предположения в ходе экспериментальных наблюдений фиксировались обсервованные возвышения над геоидом, принятым в системе WGS-84. Приёмник SPR-1400 вычисляет возвышения с разрядностью 1 м.

В результате обработки накопленных данных были получены осреднённые за каждую минуту наблюдений значения возвышений и их СКО для магнитоспокойного периода и для действия магнитной бури. Ход изменения осреднённых возвышений представлен на рис. 9. Левая панель этого рисунка соответствует характеру изме-

нения среднего возвышения в магнитоспокойный период, а правая панель – магнитной бури.

На рис. 9 видно, что в период, предшествовавший магнитной буре, осреднённые возвышения развивались гораздо хаотичнее. И если начальные фазы развития в сравниваемых периодах схожи, то после 300-й минуты начинают наблюдаться существенные различия в характере изменения осреднённых возвышений.

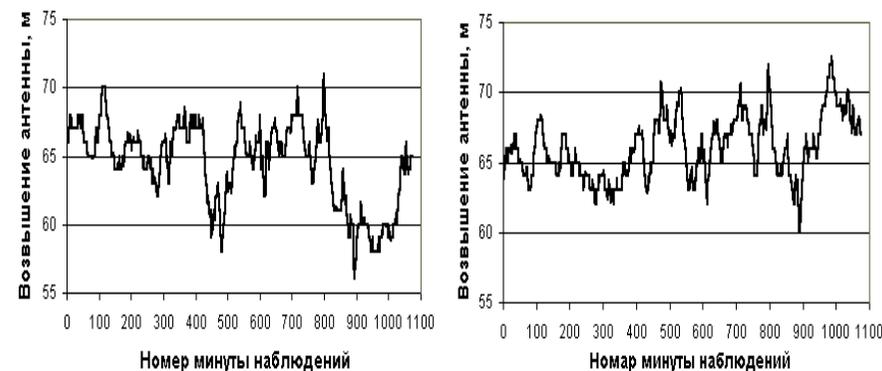


Рис. 9. Графики изменения среднего возвышения антенны над геоидом в магнитоспокойный период (левая панель) и во время магнитной бури (правая панель)

Таблица 4
Характеристики распределений осреднённых за 1 минуту возвышений

Характеристика	Магнитоспокойный период	Магнитная буря
Максимальное значение	71 м	72,56 м
Минимальное значение	56 м	60 м
Размах	15 м	12,56 м
Среднее значение	64,44 м	66,03 м
СКО	2,99 м	2,23 м

Характеристики распределений осреднённых возвышений как случайных величин в магнитоспокойный период и в магнитную бурю помещены в табл. 4.

Из анализа табл. 4 следует, что разброс осреднённых значений возвышений антенны был выше в магнитоспокойный период, а среднее значение возвышений в этот период было меньше на 1,59 м. Величина СКО как мера точности определения возвышений антенны приёмником SPR-1400 во время магнитной бури оказалась заметно меньше, чем в магнитоспокойный период. На рис. 10 видно, что для магнитоспокойного периода гистограмма распределения возвышений теряет свою унимодальность в отличие от гистограммы периода действия магнитной бури. Частоты гистограммы, соответствующей магнитной бури, располагаются более компактно.

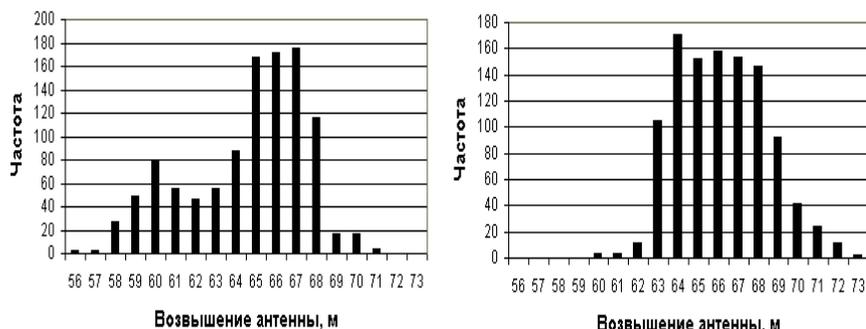


Рис. 10. Гистограммы распределений возвышений антенны в магнитоспокойный период (левая панель) и во время магнитной бури (правая панель)

О различиях между изменениями возвышений антенны GPS-приёмника SPR-1400 в обсуждаемые периоды наблюдений можно судить по рис. 11. На нём представлен график изменения разности возвышений между соответствующими минутами осреднения магнитоспокойного периода и периода магнитной бури. Разности Δh_j в метрах между возвышениями рассчитывались следующим образом:

$$\Delta h_j = h_{jcp}^{(W)} - h_{jcp}^{(MS)}, \quad (4)$$

где $h_{jcp}^{(W)}$ – среднее значение возвышения антенны в j -тую минуту магнитоспокойного периода, метры; $h_{jcp}^{(MS)}$ – среднее значение возвышения антенны в j -тую минуту периода магнитной бури, метры.



Рис. 11. График разностей возвышений антенны приёмника SPR-1400 над геоидом

На рис. 11 можно видеть два минимума в области 500-й и 1000-й минут наблюдений. Эти минимумы совпадают со значительными изменениями широт и долгот на рис. 3 и рис. 6 в магнитоспокойный период наблюдений. Этот факт позволяет предположить о существовании процессов в ионосфере, ухудшающих точность работы одночастотного GPS-приёмника, которые возникают после вспышки на Солнце, но ещё до наступления магнитной бури.

Анализ СКО возвышений не выявил существенных различий между магнитоспокойным периодом и периодом действия магнитной бури.

В работе [7] показано, что во время магнитных бурь геодезические двухчастотные GPS-приёмники могут терять способность сопровождать сигналы спутников. Подобное явление с

судовыми одночастотными приёмниками было отмечено 14 июля 2000 года в прибрежных водах Калифорнии и названо “Эффектом Бастилии” [11]. К сожалению, это явление осталось без количественного описания и анализа. Поэтому на заключительном этапе исследования были проанализированы сбои сопровождения, возникавшие в ходе экспериментальных наблюдений за работой приёмника SPR-1400 13-го и 15-го января 2006 года. Для этого фиксировалось количество пропусков ежесекундных записей данных от приёмника за каждую минуту наблюдений. Предполагалось, что магнитная буря увеличит количество таких сбоев. Гистограммы распределения количества сбоев в одноминутные интервалы изображены на рис. 12. Необходимо напомнить, что количества одноминутных интервалов в магнитоспокойный период и в магнитную бурю одинаковы.

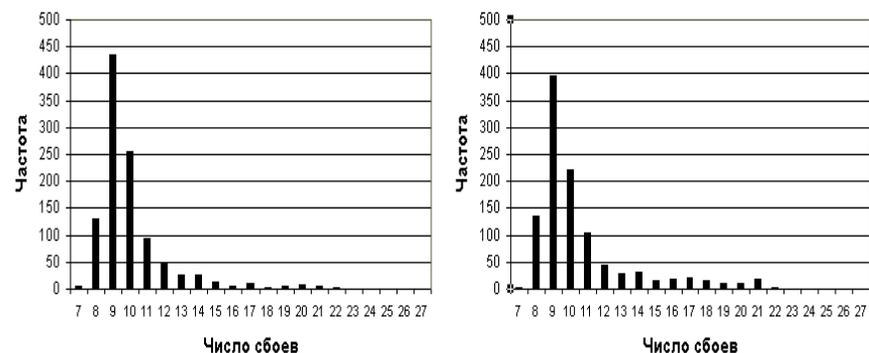


Рис. 12. Гистограммы распределения числа сбоев сопровождения сигналов спутников за одноминутные интервалы в магнитоспокойный период (левая панель) и во время магнитной бури (правая панель)

Сравнение гистограмм рис. 12 позволяет сделать вывод о схожести законов распределения числа сбоев сопровождения сигналов спутников в магнитоспокойный период и в период действия магнитной бури. Тем не менее, видно, что в период магнитной бури заметно увеличились частоты большого числа сбоев.

Представим число сбоев, произошедших за одну минуту наблюдений, в качестве случайной величины. Рассчитанные статистические характеристики её распределения помещены в табл. 5.

Сравнение полученных характеристик позволяет сделать вывод о возрастании среднего количества сбоев и СКО сбоев в магнитную бурю. Также существенно меняются параметры плотности распределения количества сбоев, что подтверждают значения эксцессов и асимметрий.

Таблица 5

Статистические характеристики распределения числа сбоев за одну минуту сопровождения сигналов спутников в магнитоспокойный период и в период магнитной бури

Характеристика	Магнитоспокойный период	Магнитная буря
Максимальное значение	27	22
Минимальное значение	7	7
Размах	20	15
Среднее значение	10,12	10,56
СКО	2,39	2,91
Эксцесс	9,89	3,54
Асимметрия	2,8	1,99

Полученные результаты позволяют сформулировать следующие выводы и предложения.

1. Анализ характера распределения обсервованных координат подтверждает влияние магнитной бури на точность работы одночастотного приёмника СРНС Навстар GPS.
2. Влияние магнитной бури проявляется в виде значительных изменений средних величин координат по сравнению с магнито-

спокойным периодом. При этом средние квадратические отклонения, рассчитанные за односторонние интервалы, изменяются мало.

3. В большей степени откликаются на воздействие магнитной бури возвышение антенны над геоидом и широта. Изменения долгот в магнитную бурю незначительны по сравнению с магнитоспокойным периодом.

4. Сравнение данных работы [7] с полученными результатами позволяет сделать вывод о более устойчивой работе одночастотного GPS-приёмника в магнитную бурю по сравнению с двухчастотным. По этой причине вряд ли будет оправданным применение на судах измеряющих радионавигационный параметр фазовым способом GPS-приёмников для определения текущих координат и входящих в состав спутниковых компасов.

5. В данном исследовании применялся метод сравнения координат во время магнитной бури с координатами магнитоспокойного периода, непосредственно предшествовавшего буре. Такой подход нельзя признать наиболее удачным, так как параметры трансионосферного канала распространения сигналов спутников системы Навстар GPS могли претерпеть изменения после вспышки на Солнце ещё до наступления магнитной бури.

6. Подобные исследования крайне необходимо проводить на пунктах высокоточной геодезической GPS-сети с обязательной параллельной записью магнитограмм. Поэтому хотелось бы иметь более тесное сотрудничество со специалистами УАФО с целью создания постоянно действующего мониторинга обсервованных координат параллельно работающими одночастотным и двухчастотным GPS-приёмниками.

7. Как показали более ранние исследования точности работы приёмника SPR-1400 [12], функции распределения его обсервованных координат представляет собой суперпозицию двух распределений. Поэтому данный приёмник не в достаточной мере отвечает интересам проведения экспериментов по влиянию магнитной бури.

8. Исследование количества сбоев приёмника SPR-1400 выявило ранее неизвестное свойство нестабильной работы приёмников СРНС Навстар GPS. Этот факт обуславливает необходимость выполнения дополнительных исследований такого свойства судовых

GPS-приёмников, которые входят в состав автоматической идентификационной системы, обеспечивающей безопасность судоходства.

ЛИТЕРАТУРА

1. Демьянов В. В., Афраймович Э. Л., Кондакова Т. Н. Ухудшение качества функционирования навигационной системы GPS в условиях геомагнитной возмущённости // Солнечно-земная физика. 2003. Вып. 3. – С. 86 – 94.
2. Афраймович Э. Л., Воейков С. В., Лесюта О. С., Ушаков И. Н. Геомагнитные возмущения и сбои фазовых измерений навигационной системы GPS // Труды VII международной научно-технической конференции “Радиолокация, навигация, связь”. – Воронеж, 2001. Т. 3. – С. 1548 – 1559.
3. Афраймович Э. Л., Лесюта О. С., Ушаков И. Н. Геомагнитные возмущения и функционирование навигационной системы GPS // Геомагнетизм и аэронавигация. 2002. Е. 42, № 2. – С. 220 – 227.
4. Афраймович Э. Л., Бернгардт И. И., Лесюта О. С. и др. Исследование физических механизмов фазовых сбоев системы GPS во время магнитных бурь // Сб. докладов VIII международной конференции “Радиолокация, навигация, связь”. – Воронеж, 2002. Т. 3. – С. 1931 – 1040.
5. Афраймович Э. Л., Демьянов В. В., Кондакова Т. Н. Исследование качества функционирования двухчастотных навигационных приёмников GPS во время геомагнитных бурь // Труды IX международной научно-технической конференции “Радиолокация, навигация, связь”. – Воронеж, 2003. Т. 3. – С. 1691 – 1699.
6. Афраймович Э. Л., Астафьева Э. И., Демьянов В. В., Кондакова Т. Н., Лесюта О. С. Сбои функционирования GPS на средних широтах во время магнитных бурь, обусловленные интенсивными амплитудными мерцаниями сигналов GPS // Труды Всероссийской научно-практической конференции “Достижения науки и техники – развитию Сибирских регионов”. – Красноярск, 2003. – С. 115.
7. Кондакова Т. Н. Исследование погрешностей позиционирования по сигналам спутниковых радионавигационных систем при различных уровнях возмущённости околоземного космического пространства. Автореферат диссертации на соискание учёной степени кандидата технических наук. Иркутский военный инженерный институт. – Иркутск, 2004. – 24 с.
8. Михалина Ф. А., Воробьёва Г. П. Солнечная активность в 23-м цикле по результатам наблюдений в УАФО радиоизлучения Солнца на длине волны 10,7 см и относительных чисел пятен // Солнечная активность и её влияние на Землю. – Владивосток: Дальнаука, 2007. – С. 114 – 121. (Тр. УАФО; т. 10, вып. 10).
9. Комаровский Ю. А. Исследование модели погрешностей определения места судна приёмником СРНС Навстар GPS // Транспортное дело России. Специальный выпуск № 2. – Москва, 2004. – С. 15 – 19.

10. *Parkinson Bradford W., Spilker James J., Enge Per.* Global Positioning System: Theory and Applications. Volume I. American Institute of Aeronautics and Astronautics, 1996. – 793 p.

11. *Комаровский Ю. А.* Оценка влияния составляющих магнитного поля Земли на погрешности определения абсолютной скорости судовым приёмником Navstar GPS // Владивосток: Дальнаука, 2004. С 75 – 87. (Тр. УАФО; Т.8, вып.8).

12. *Комаровский Ю. А.* Оценка точности определения координат приёмником СРНС Навстар GPS SPR-1400 // Научные проблемы транспорта Сибири и Дальнего Востока, Новосибирск, 2007. – С. 61 – 68.

*Ю.А. Комаровский*²

ВЛИЯНИЕ ИМПУЛЬСА ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ ЭНЕРГИИ НА РАБОТУ СУДОВОГО ОДНОЧАСТОТНОГО ПРИЁМНИКА СИСТЕМЫ НАВСТАР GPS

Немаловажной проблемой применения приёмников спутниковой радионавигационной системы (СРНС) Навстар GPS является подверженность навигационных сигналов спутников влиянию параметров трансферного канала распространения и разного рода помех. Наибольший вклад в суммарную погрешность определения координат антенны GPS-приёмника и вектора абсолютной скорости платформы, на которой установлен приёмник, оказывает ионосфера. Её состояние прямо влияет на величину измеряемой псевдодальности от спутника до антенны приёмника. Так как СРНС Навстар GPS относится к дальномерным радионавигационным системам, то величина погрешности определения координат и скорости платформы будет зависеть от того, насколько измеренные приёмником псевдодальности до спутников будут отличаться от геометрических дальностей.

Судовые GPS-приёмники в настоящее время являются одночастотными, измеряющими псевдодальности по дальномерным кодам. Погрешности измерения псевдодальности в судовых приёмниках из-за влияния ионосферы находятся в пределах от дециметра до 50 м [4]. Погрешности зависят от уровня солнечной активности, сезонных и суточных вариаций электронной концентрации в ионосфере, высоты спутника над горизонтом, азимута спутника, геомагнитной широты и долготы платформы [1]. Помимо упомянутых, принятых условно считать регулярными, есть ещё целый ряд погрешностей, называемых нерегулярными. К последним относятся

² Морской государственный университет им. адм. Г.И. Невельского.
Владивосток, komarovskiy@msun.ru