

ФГУП «РНИИ КП»

Альманах результатов мониторинга целостности взаимодействующих  
систем ГЛОНАСС/GPS

за период с 08.11.2007 15:00:00 по с 09.11.2007 00:00:00

## 1. Введение

Данный материал представляет результаты оценки текущего уровня целостности взаимодополняющих систем GPS/ГЛОНАСС на территории РФ. Под текущем уровнем целостности понимается возможность пользователя, находящегося на территории РФ, определять своё местоположение с ошибкой не превышающей указанный в приведенных ниже результатах порог.

В расчетах использовались следующие спутниковые системы: ГЛОНАСС и GPS, как совместно, так и только GPS. Это необходимо для оценки точности позиционирования, которое может получить пользователь по разным системам и их комбинациям.

Результаты приведены для случая использования эфирных (бортовых) и уточнённых эфемерид. Эфирные эфемериды использовались для оценки целостности в штатном режиме позиционирования пользователей. Уточненные эфемериды – для определения потенциально достижимой целостности при использовании уточненных эфемерид, например по данным системы СДКМ.

Основная идея алгоритма мониторинга целостности основана на том, что общий сдвиг часов всех спутников относительно системной шкалы времени (СШВ) не влияет на точность позиционирования, а влияют разности между сдвигами часов отдельных спутников. Поэтому чтобы оценить часы спутника, сначала были взяты разности между спутниками на каждой станции (для устранения сдвига часов станции). Затем из совокупности видимых спутников был выбран базовый спутник, и все остальные сведены к нему. В дальнейшем, когда часы станций будут привязаны к СШВ, будут формироваться не только оценка точности позиционирования, но абсолютная оценка ЧВП относительно СШВ.

Для уменьшения влияния погрешности измерений станций на общий результат оценки, использовано усреднение по станциям и по времени.

## 2. Принятые обозначения и их описания

- 2.1 Под **точностью измерений** понимается отношение модуля ошибки определения координат приёмника и PDOP. Определяет точность измерения дальности в навигационном поле в одной точке  $T$ .
- 2.2 Под **усредненной точностью измерений по набору станций** на момент  $t$  понимается среднее арифметическое массива одномоментных ( $t$ ) точностей измерения, полученных для набора станций при одинаковых условиях, т.е. использовались: один и тот же набор навигационных спутников (GPS/GPS+ГЛОНАСС), вид эфемерид (эфирные/точные) и их наличие на момент  $t$ . Определяет точность измерения дальности в навигационном поле, как усредненную величину по нескольким точкам  $T$ .
- 2.3 Под **точностью местоопределения для точки  $T$**  на момент времени  $t$  понимается произведение PDOP (для этой точки на момент времени  $t$ ) и усредненной точности измерений по набору станции на тот же момент  $t$ . Характеризует ожидаемую мгновенную точность местоопределения в точке  $T$ .
- 2.4 Под **усредненной точностью местоопределения для точки  $T$  на интервале  $N$  часов** понимается среднее арифметическое точностей местоопределения на интервале  $N$  часов. Характеризует среднюю ожидаемую точность местоопределения в точке  $T$ .
- 2.5 Под **картой оценки точности местоопределения** понимается массив координат точек  $T$  с соответствующими усредненными точностями местоопределения в точках  $T$  на интервале  $N$  часов. Предназначена для визуального отображения ожидаемой точности местоопределения во всей рабочей зоне.
- 2.6 Под **PDOP мониторинга целостности для точки  $T$**  понимается величина PDOP, рассчитанная по рабочим спутникам мониторинга целостности для точки  $T$ .
- 2.7 Под **усредненной PDOP мониторинга целостности для точки  $T$  на интервале  $N$  часов** понимается среднее арифметическое величин PDOP мониторинга целостности, рассчитанных для точки  $T$  на интервале времени  $N$  часов.
- 2.8 Под **картой PDOP мониторинга целостности** понимается массив координат точек  $T$  и соответствующих им усредненных PDOP мониторинга целостности на интервале  $N$  часов.
- 2.9 Под **наихудшей точностью местоопределения для точки  $T$  на интервале  $N$  часов** понимается максимальное значение произведения усредненной

точности по набору станций (вычисленных для точки  $T$  на момент времени  $t$ ) на PDOP мониторинга целостности, где  $t$  лежит в интервале  $t_0..t_N$ .

- 2.10 Под *картой наихудшей точности местоопределения на интервале  $N$  часов* понимается массив координат точек  $T$  и соответствующей им наихудшей точности местоопределения на интервале  $N$  часов.

### 3. Перечень представляемого графического материала

#### 3.1. Рабочие спутники

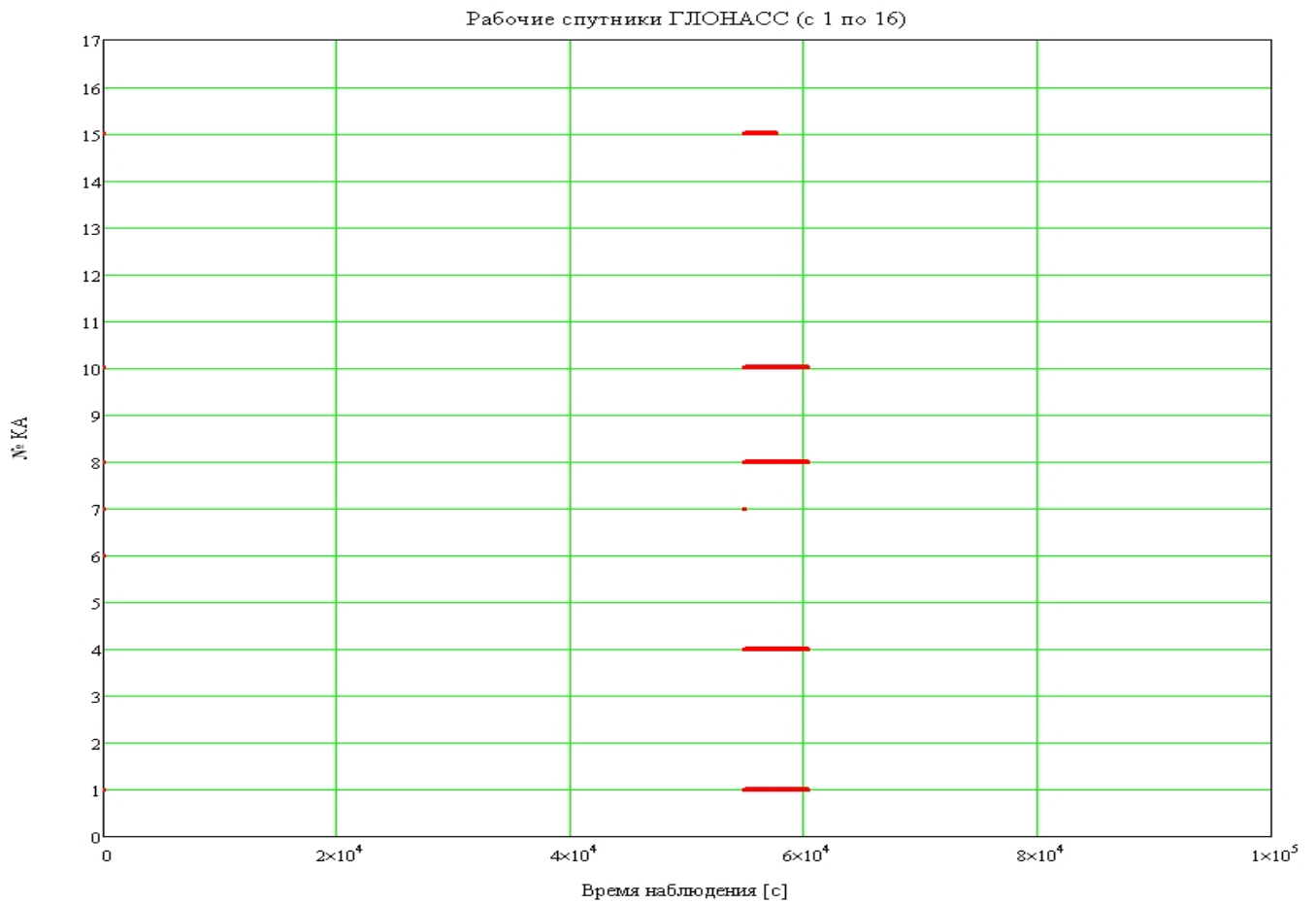


Рисунок 1 Рабочие спутники ГЛОНАСС (с 1 по 16)

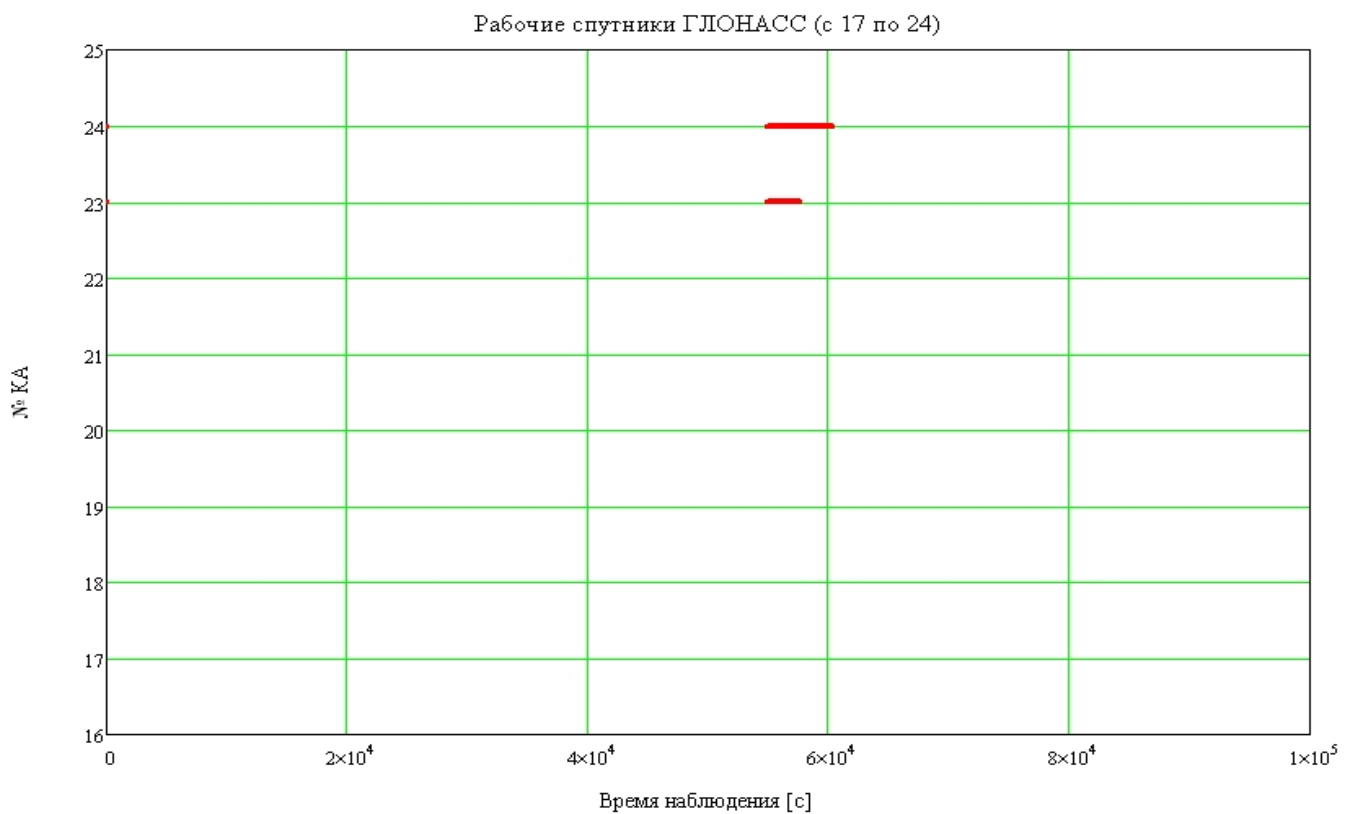


Рисунок 2 Рабочие спутники ГЛОНАСС (17 по 24)

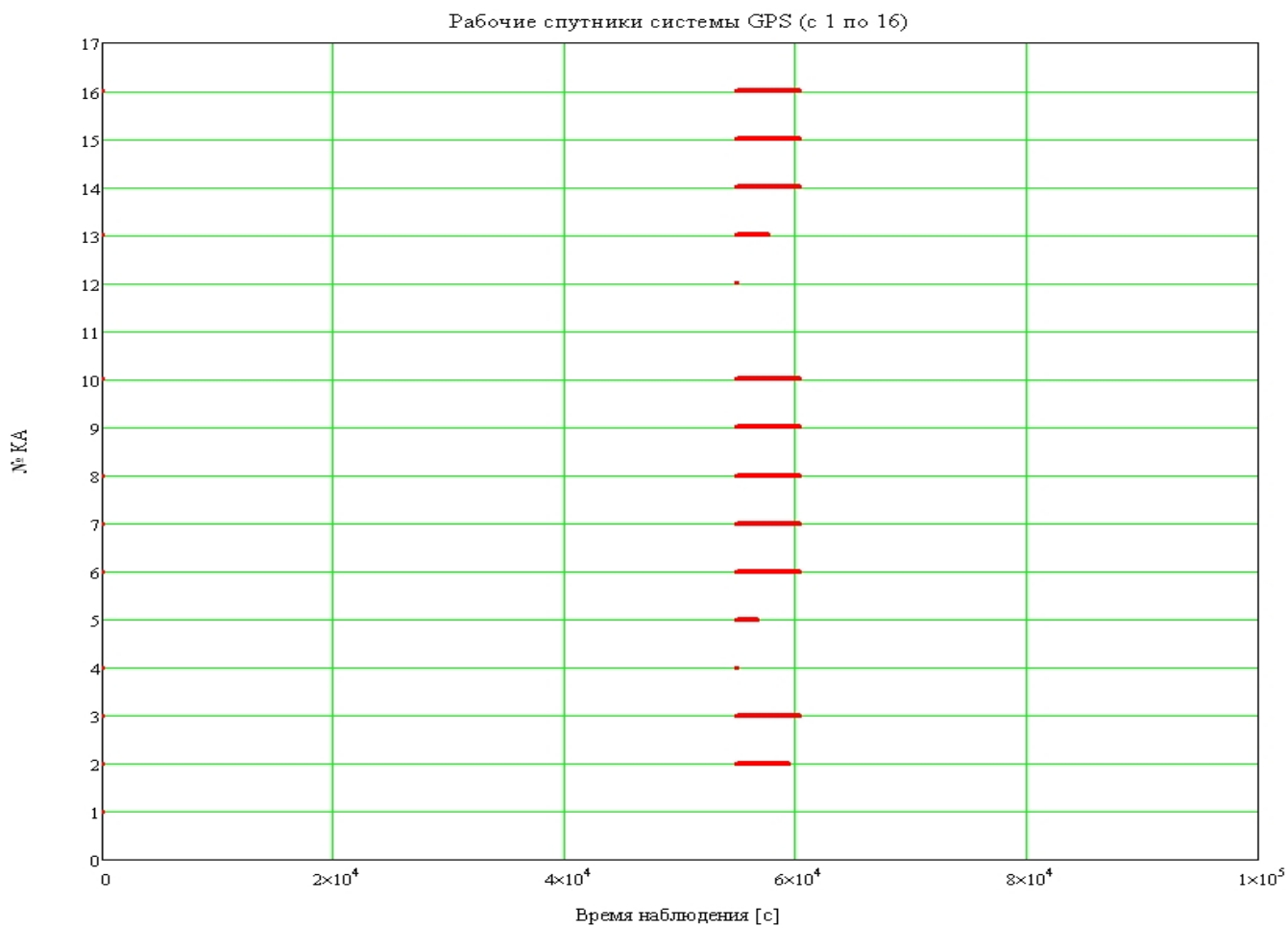


Рисунок 3 Рабочие спутники GPS (1 по 16)

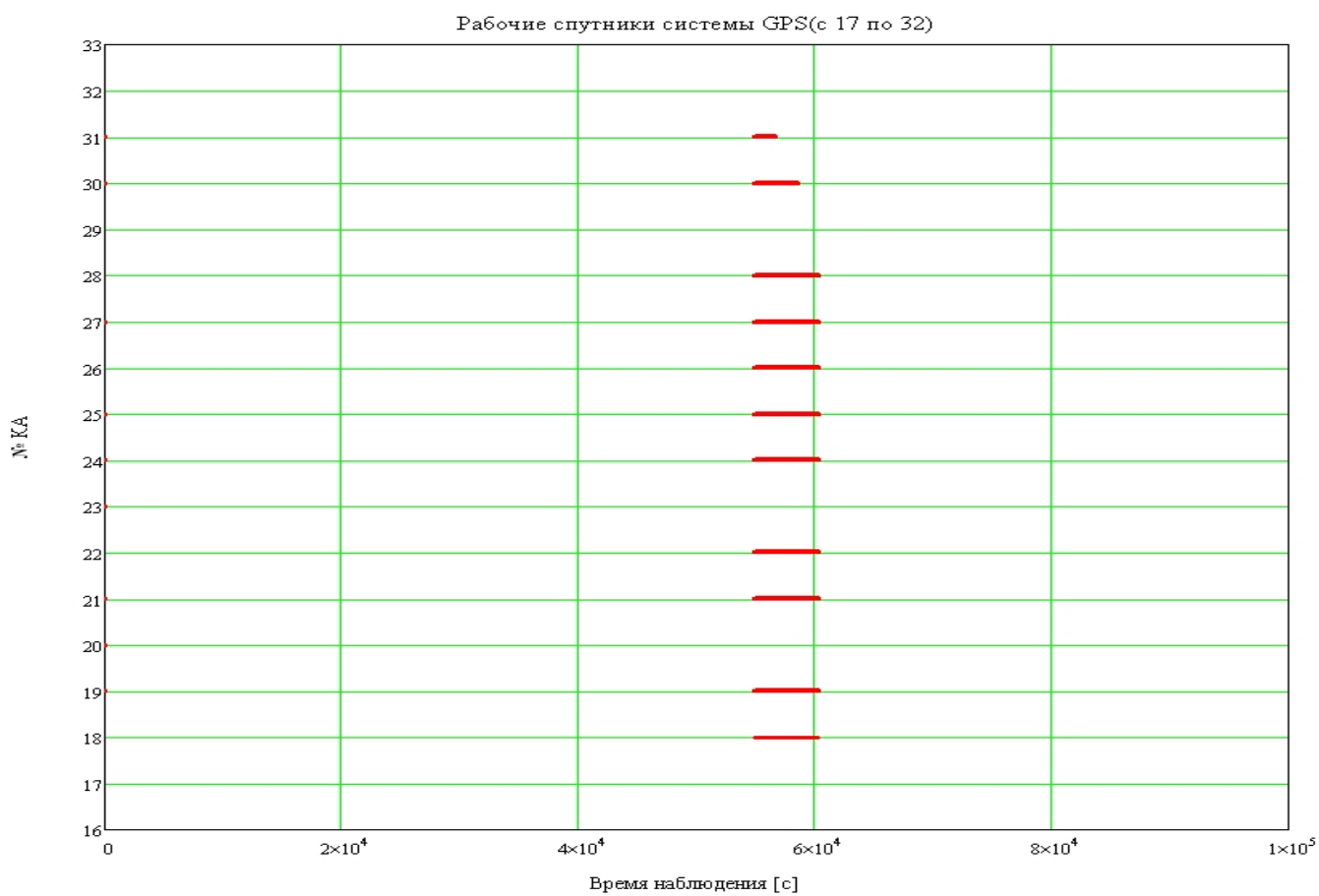
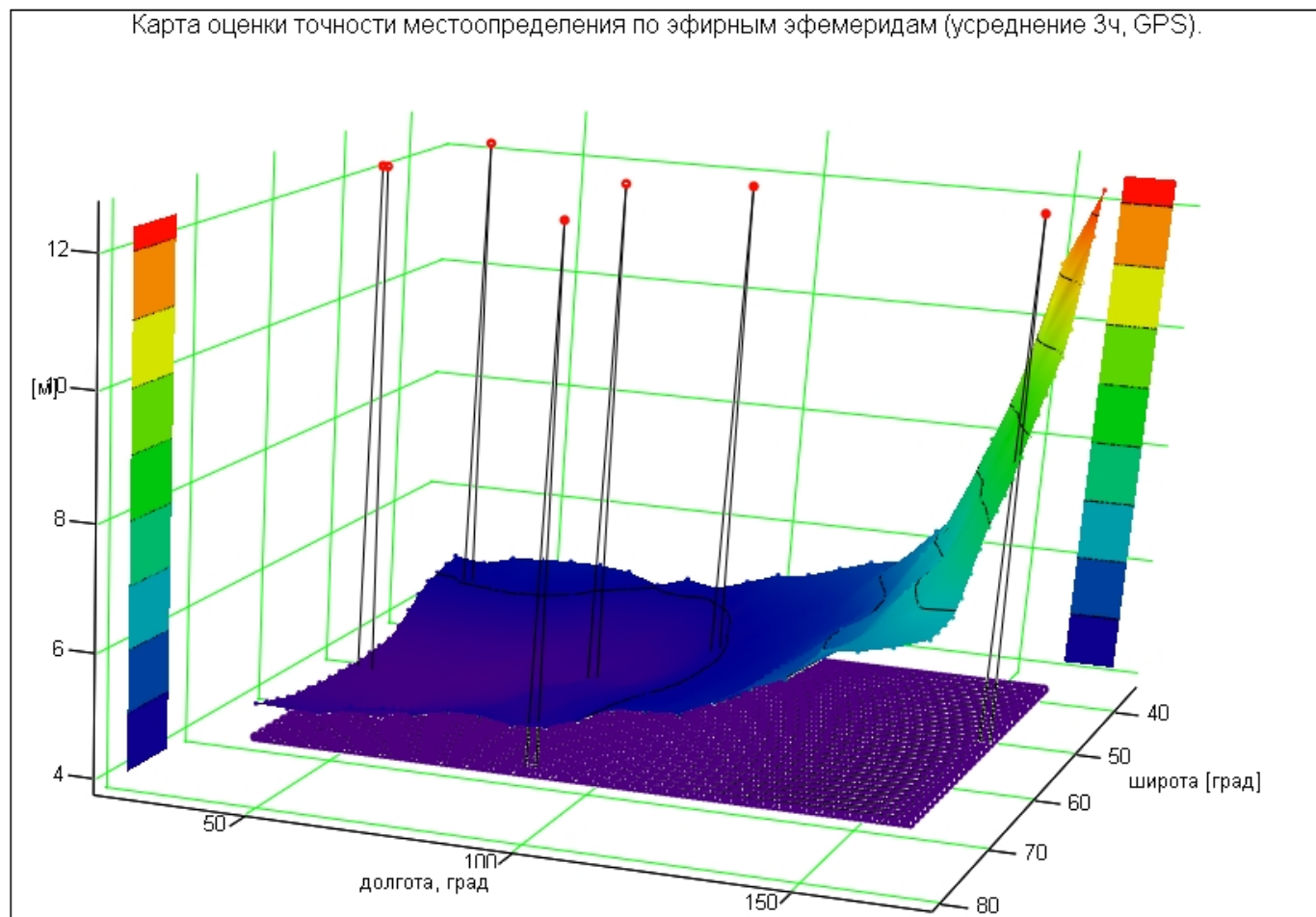


Рисунок 4 Рабочие спутники GPS (17 по 32)

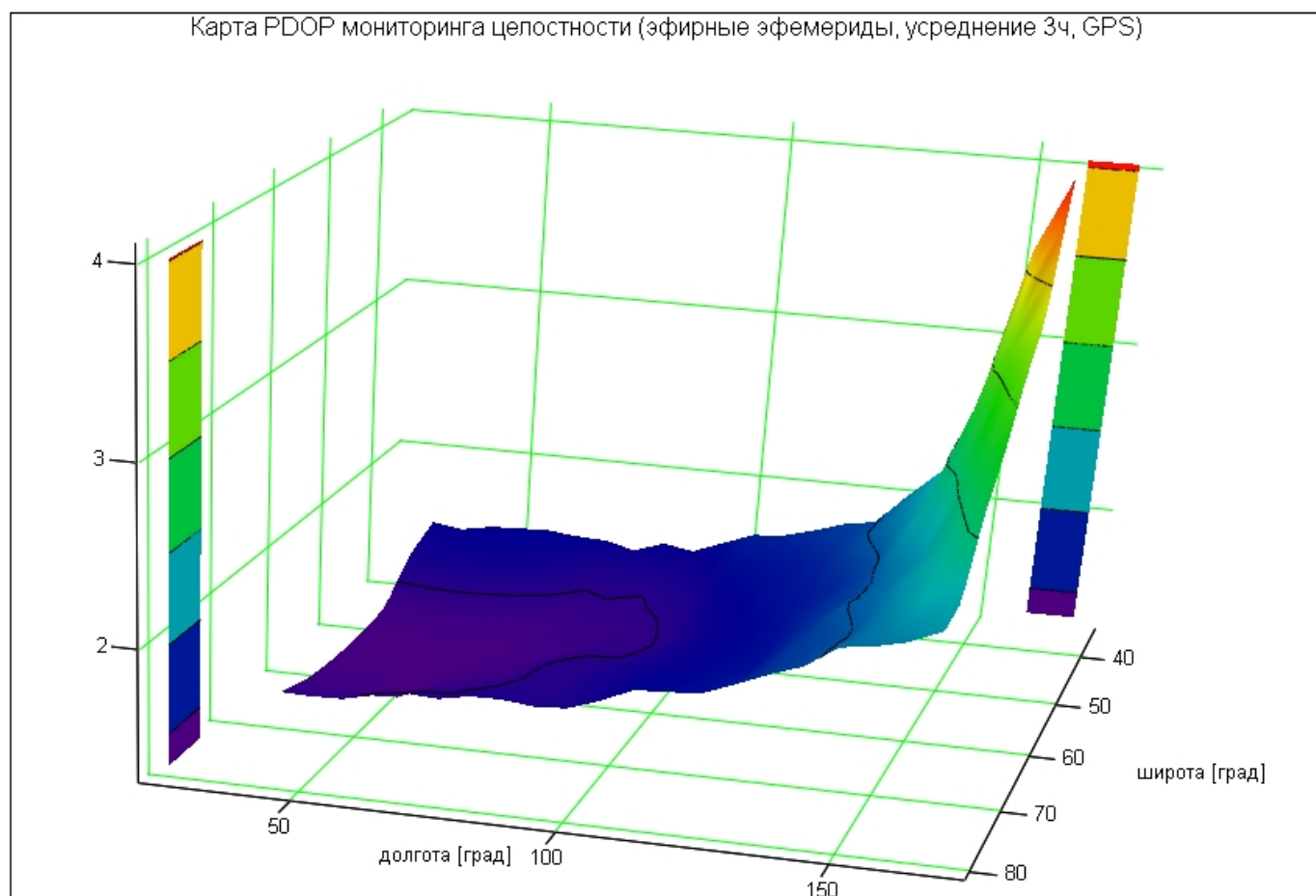
### 3.2. Карта оценки точности местоопределения по эфирным эфемеридам (усреднение 3ч, GPS)

Для построения данной карты использовались спутники системы GPS. Для расчета координат спутников использовались эфирные эфемериды. (На карте пиками показаны расположение станций. Легенда показана в виде цветowych столбцов, расположенных по бокам карты).



### 3.3. Карта PDOP мониторинга целостности (эфирные эфемериды, усреднение 3ч, GPS)

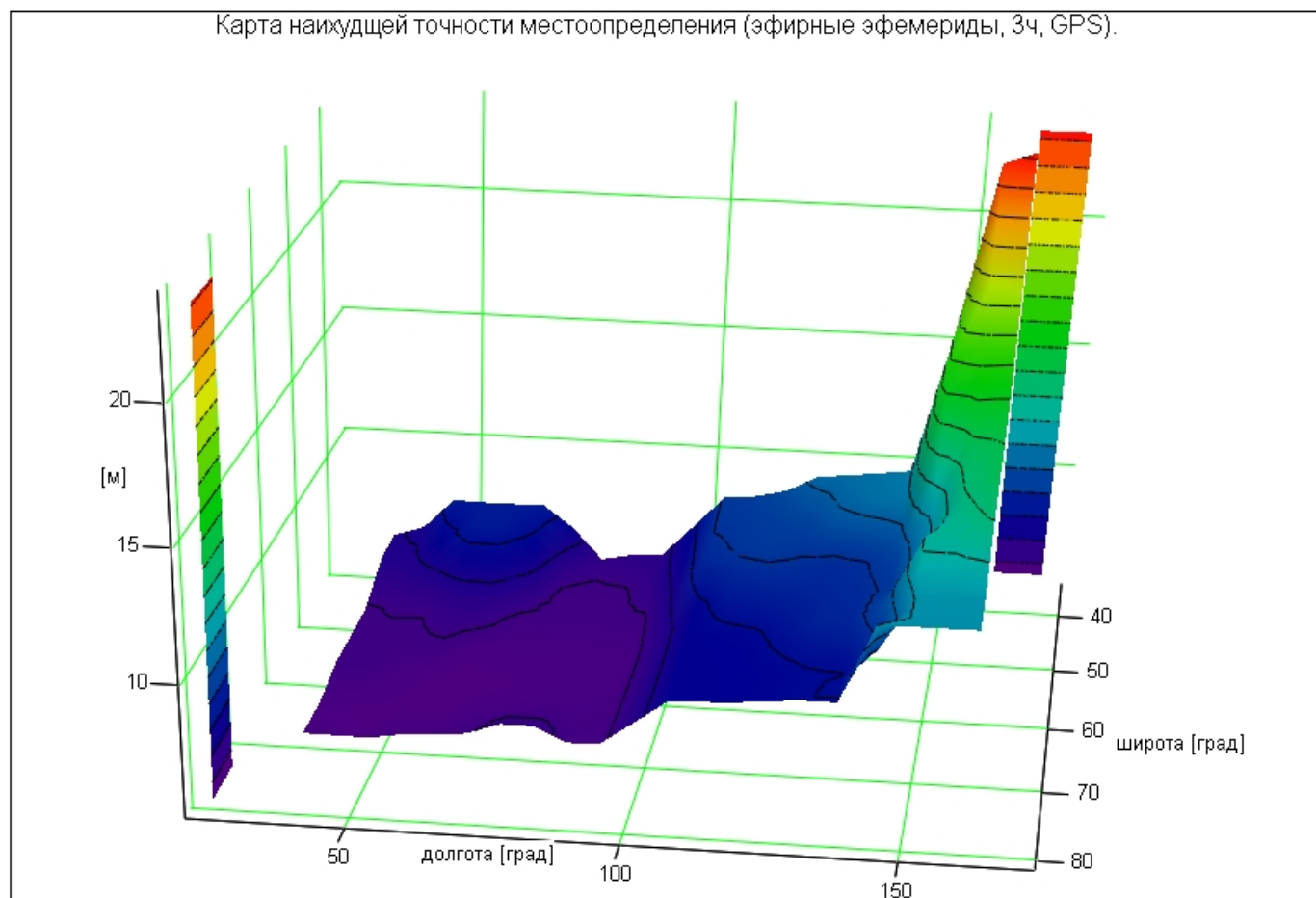
Для построения данной карты использовались спутники системы GPS. Для расчета координат спутников использовались эфирные эфемериды.





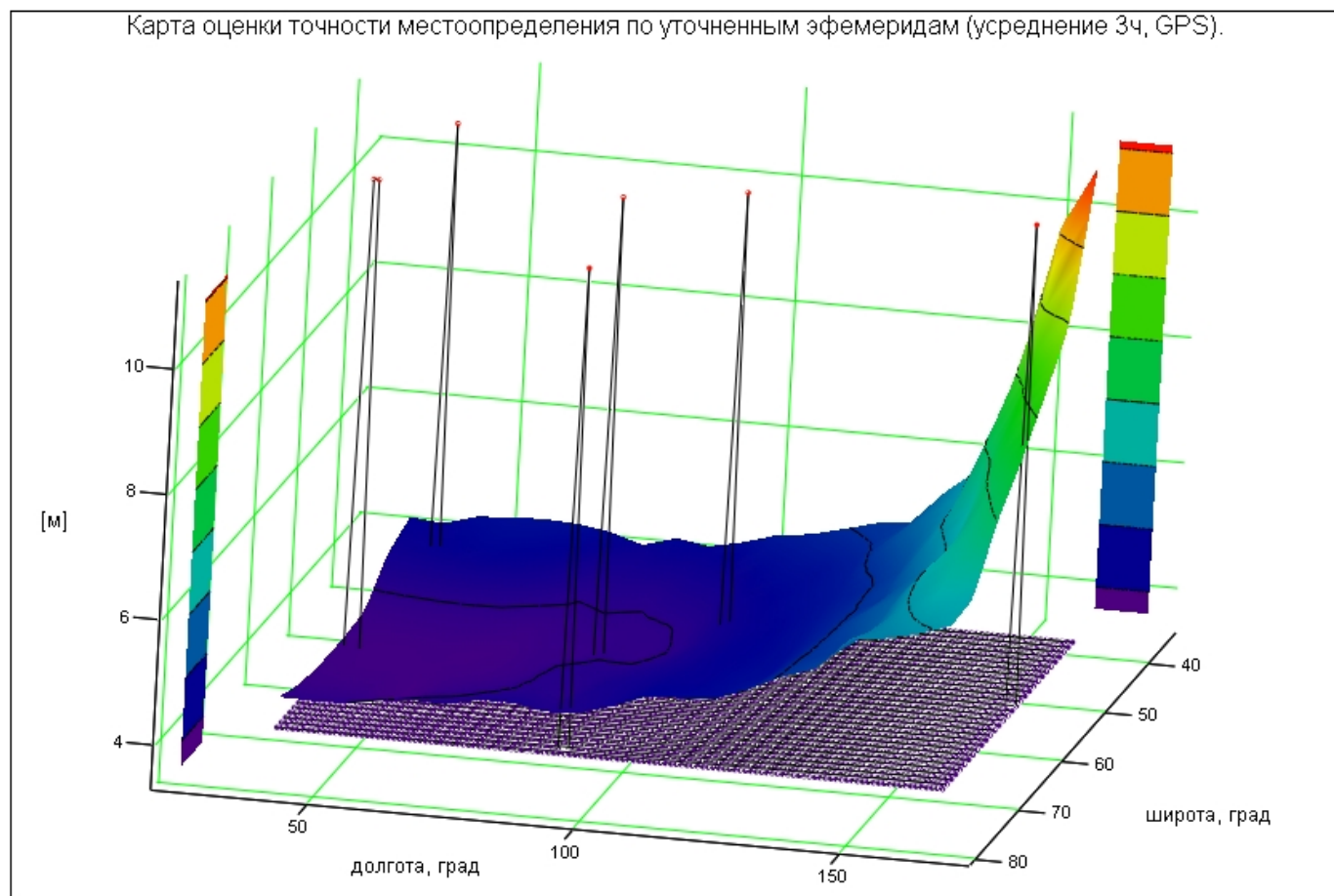
### 3.4. Карта наихудшей точности местоопределения (эфирные эфемериды, 3ч, GPS)

Для построения данной карты использовались спутники системы GPS. Для расчета координат спутников использовались эфирные эфемериды.



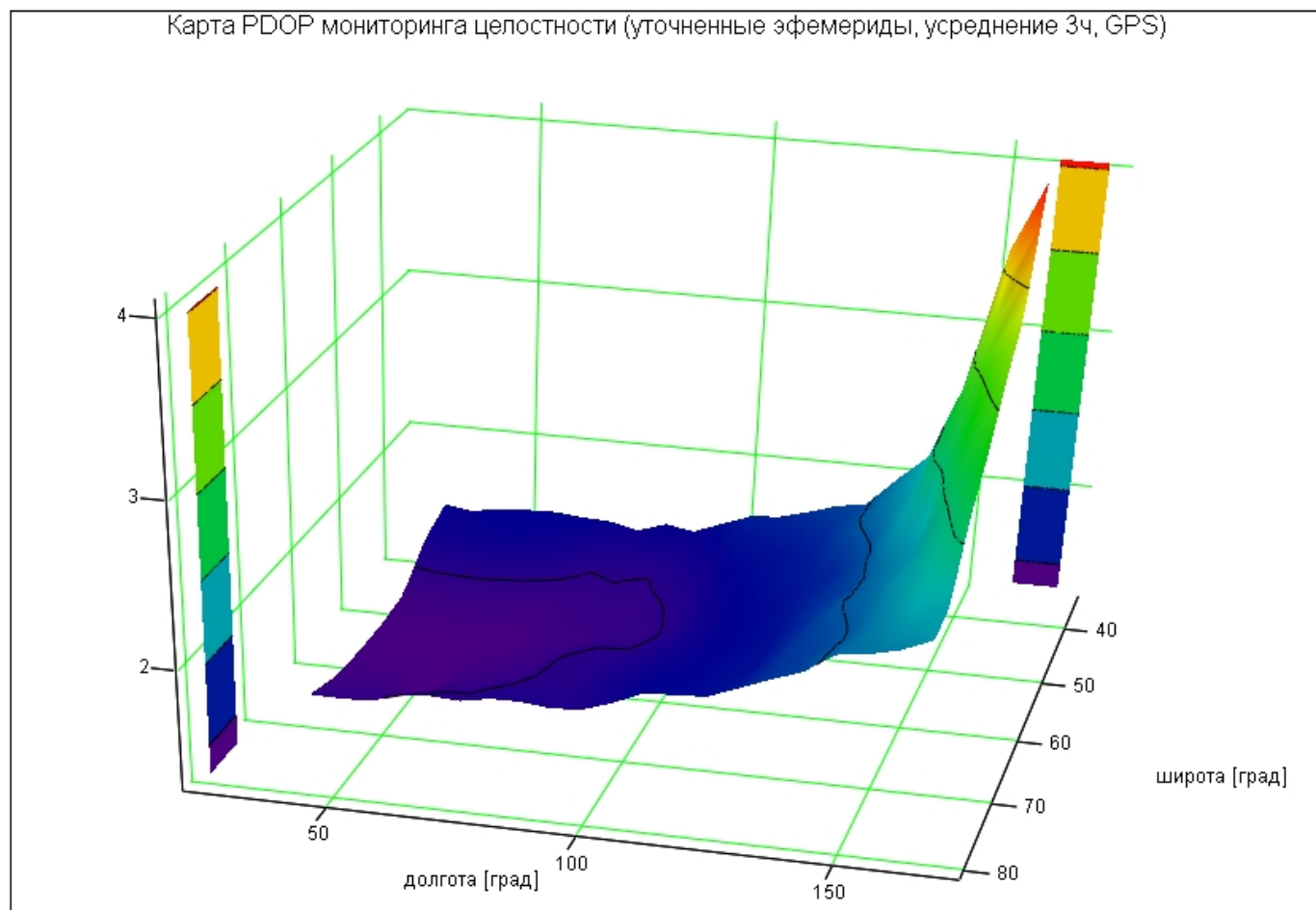
### 3.5. Карта оценки точности местоопределения по уточненным эфемеридам (усреднение 3ч, GPS)

Для построения данной карты использовались спутники системы GPS. Для расчета координат спутников использовались точные эфемериды.



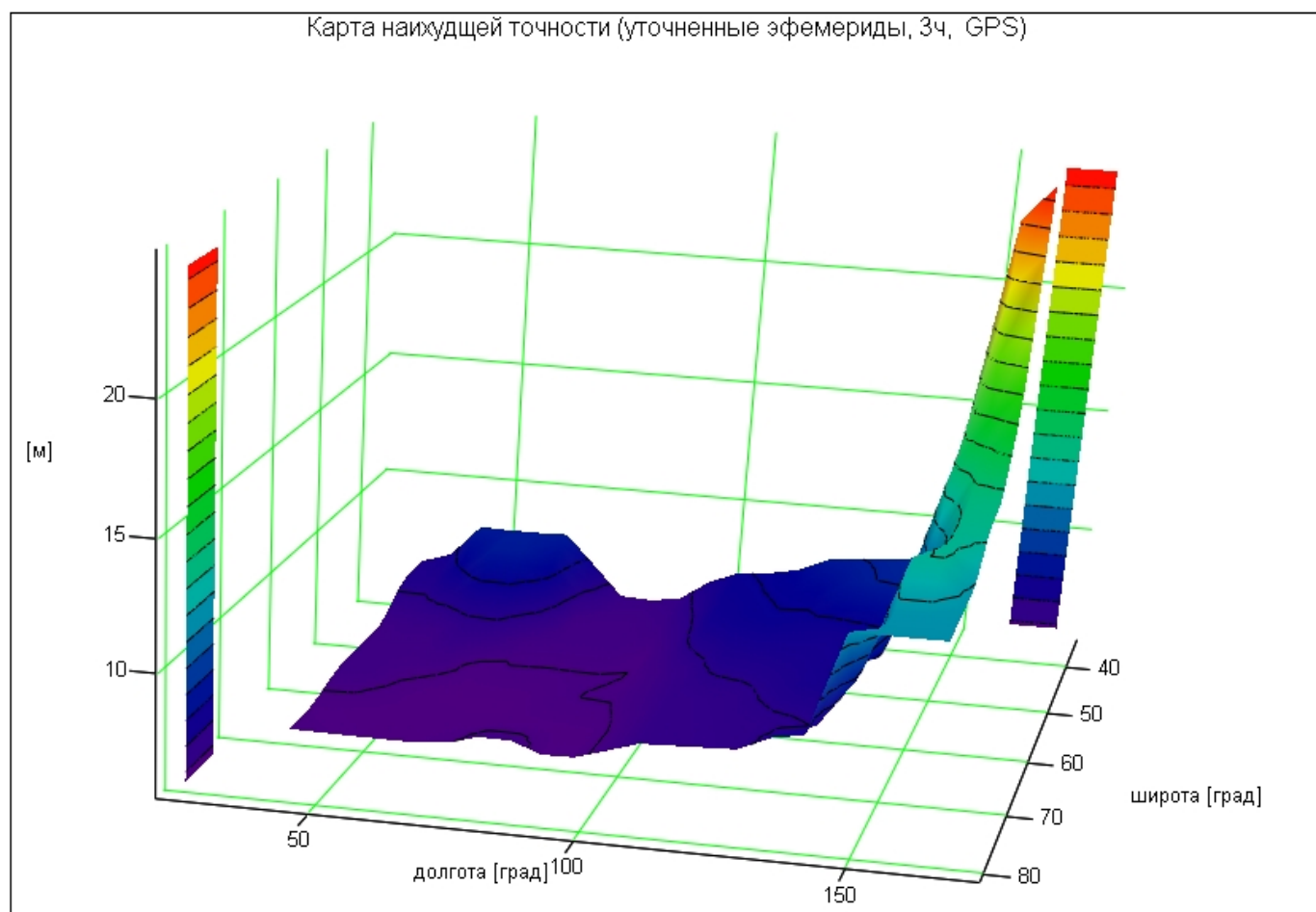
### 3.6. Карта PDOP мониторинга целостности (уточненные эфемериды, усреднение 3ч, GPS)

Для построения данной карты использовались спутники системы GPS. Для расчета координат спутников использовались точные эфемериды.



### 3.7. Карта наихудшей точности (уточненные эфемериды, 3ч, GPS)

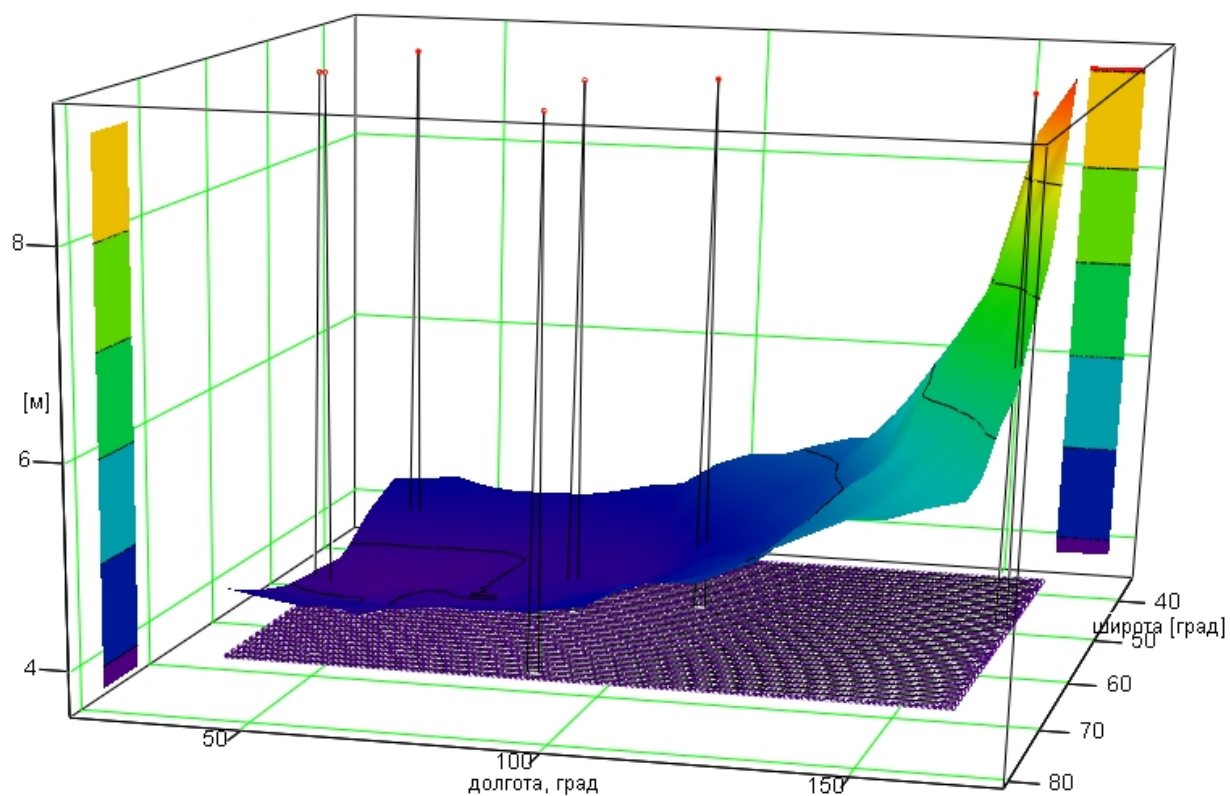
Для построения данной карты использовались спутники системы GPS. Для расчета координат спутников использовались точные эфемериды.



### 3.8. Карта оценки точности местоопределения по эфирным эфемеридам (усреднение 3ч, ГЛОНАСС + GPS)

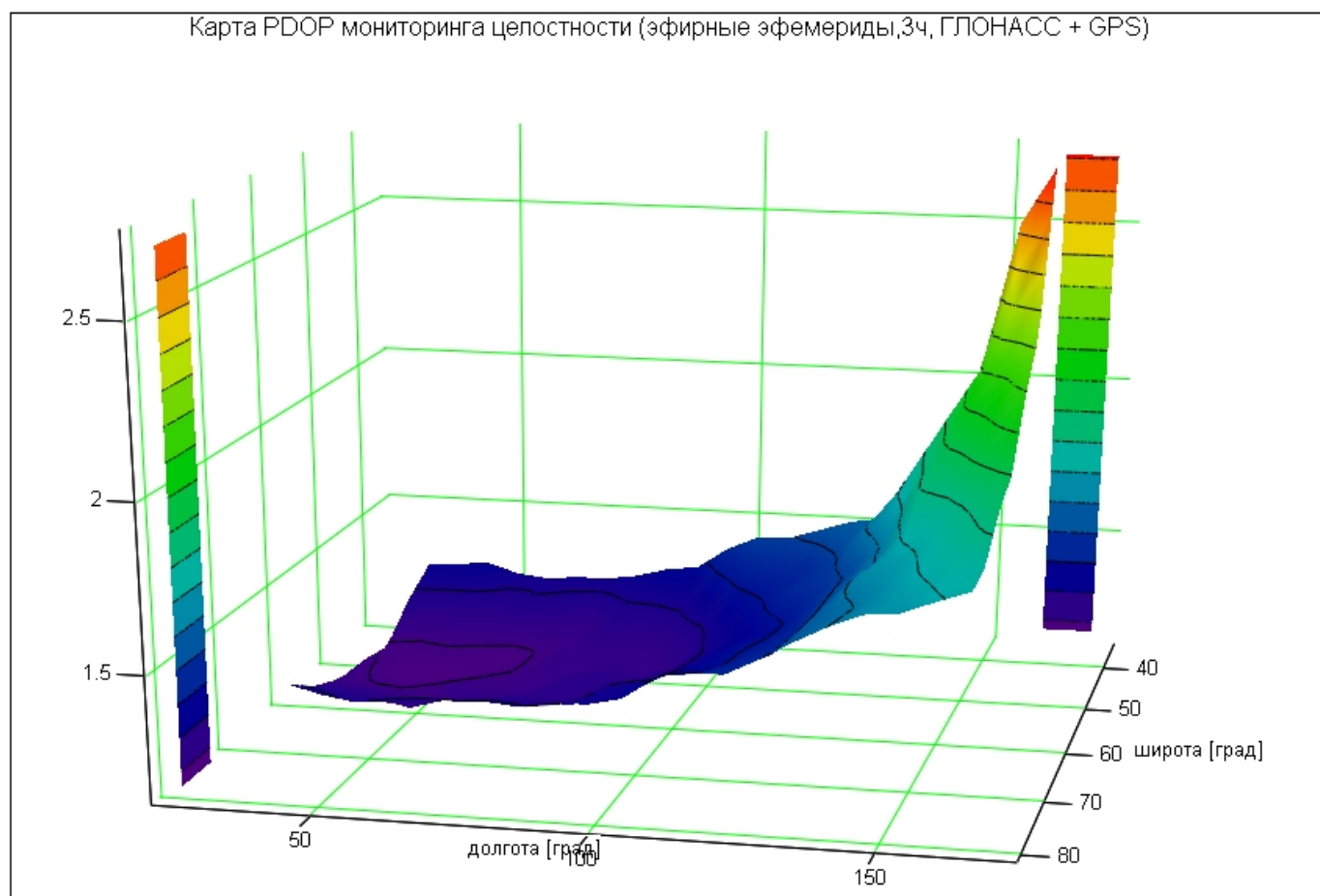
Тоже же самое, что и п.3.2, только дополнительно использовались спутники ГЛОНАСС.

Карта оценки точности местоопределения по эфирным эфемеридам (усреднение 3ч, ГЛОНАСС + GPS).



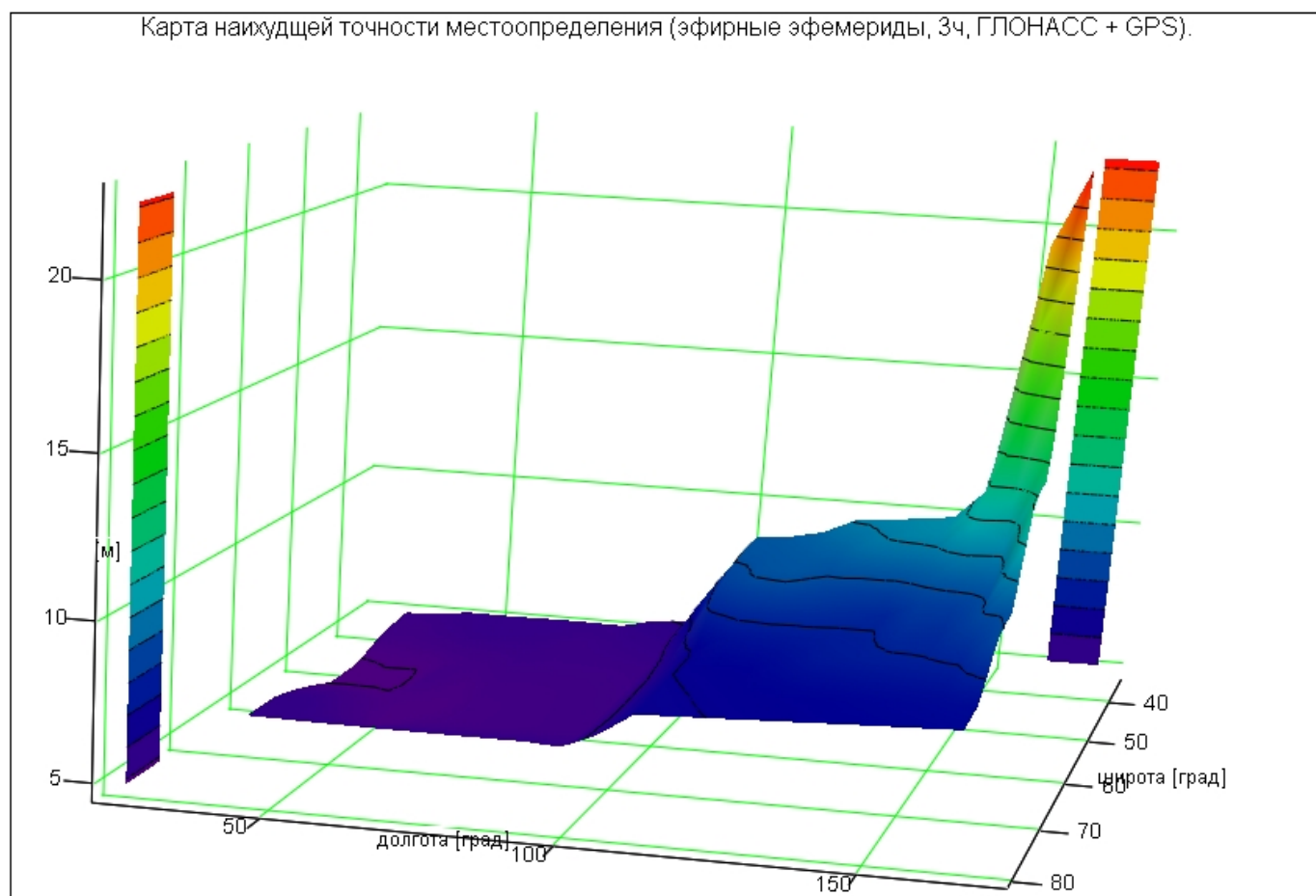
### 3.9. Карта PDOP мониторинга целостности (эфирные эфемериды, усреднение 3ч, ГЛОНАСС + GPS)

Тоже же самое, что и п.3.3, только дополнительно использовались спутники ГЛОНАСС.



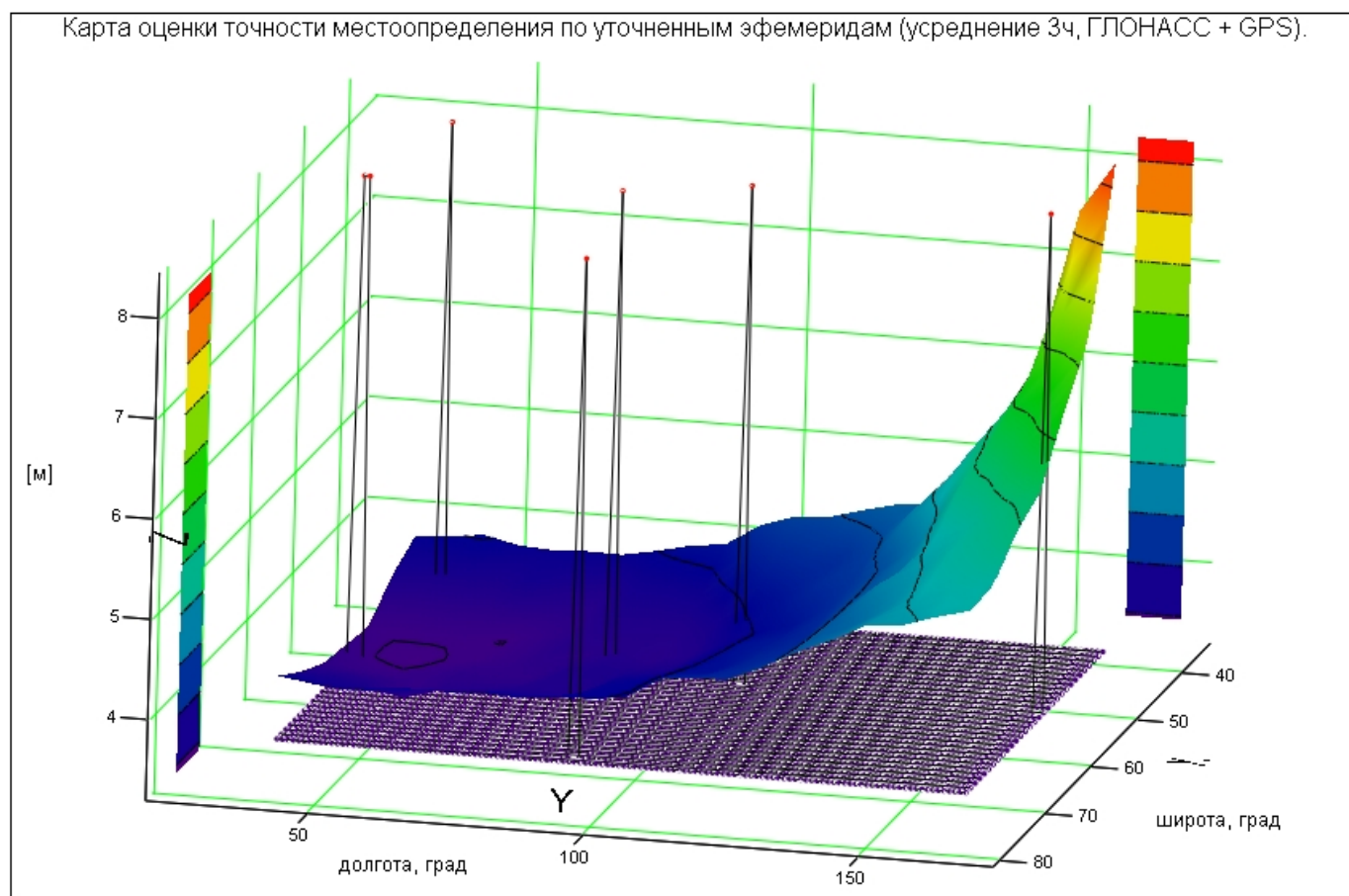
### 3.10. Карта наихудшей точности местоопределения (эфирные эфемериды, 3ч, ГЛОНАСС + GPS)

Тоже же самое, что и п.3.4, только дополнительно использовались спутники ГЛОНАСС.



### 3.11. Карта оценки точности местоопределения по уточненным эфемеридам (усреднение 3ч, ГЛОНАСС + GPS)

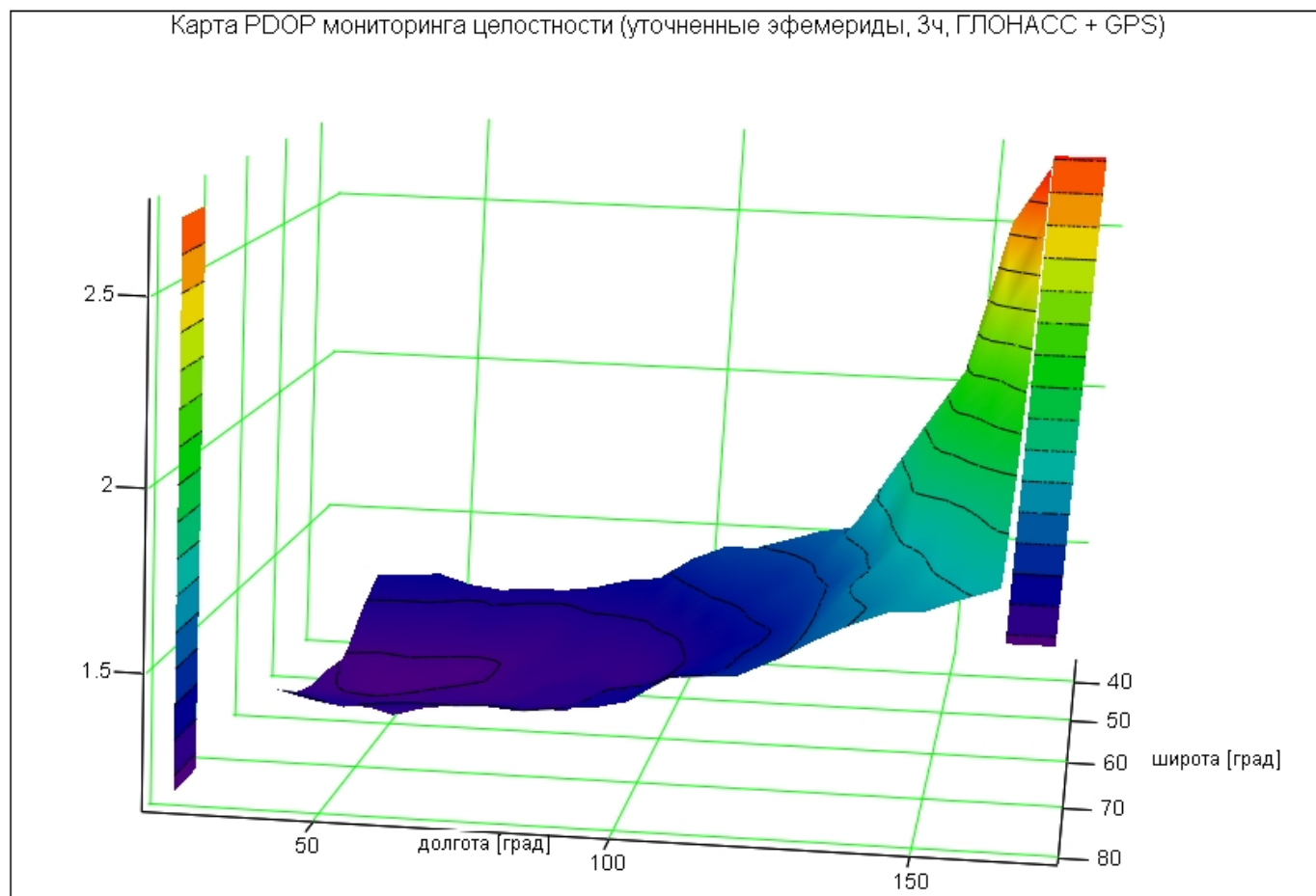
Тоже же самое, что и п.3.5, только дополнительно использовались спутники ГЛОНАСС.





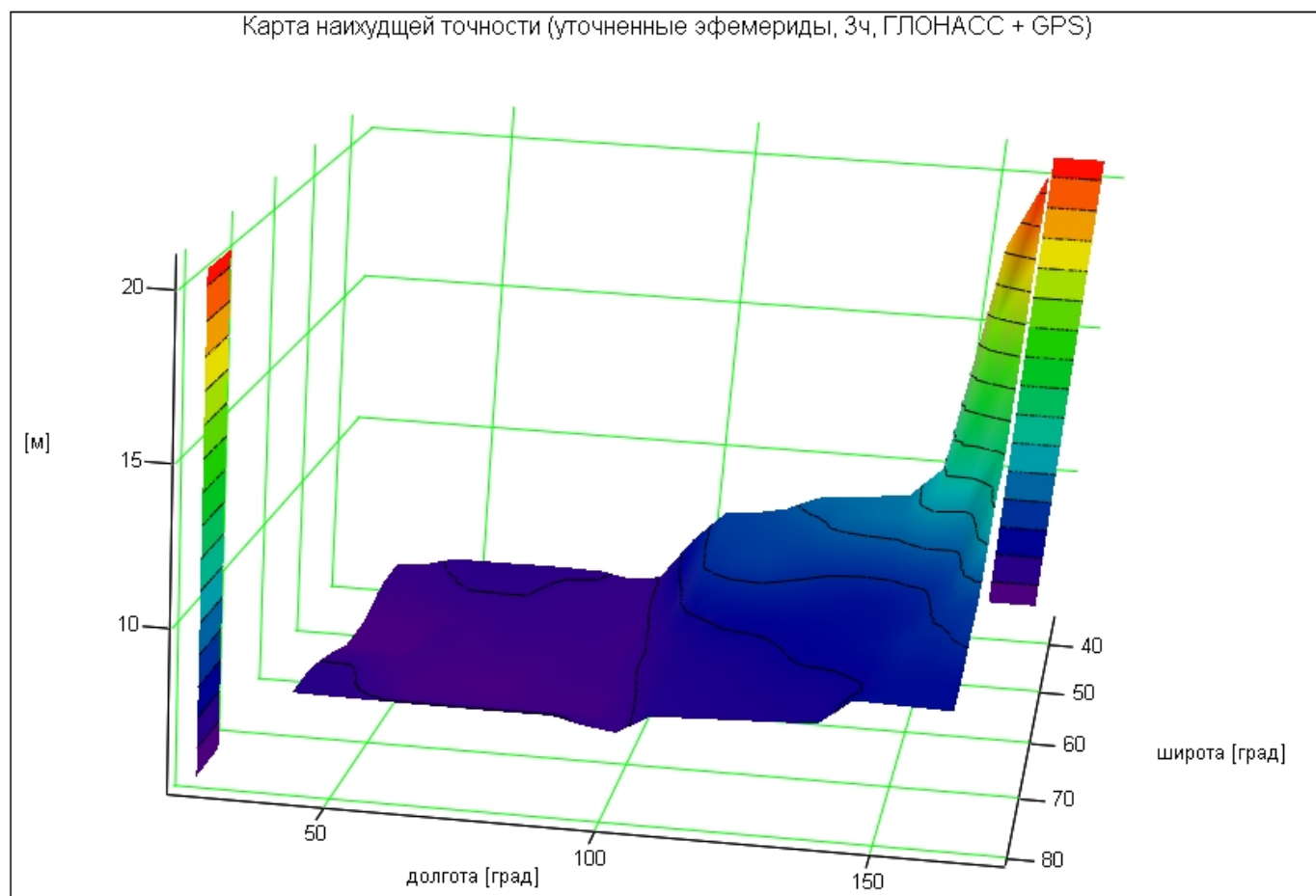
### 3.12. Карта PDOP мониторинга целостности (уточненные эфемериды, усреднение 3ч, ГЛОНАСС + GPS)

Тоже же самое, что и п.3.6, только дополнительно использовались спутники ГЛОНАСС.



### 3.13. Карта наихудшей точности (уточненные эфемериды, 3ч, ГЛОНАСС + GPS)

Тоже же самое, что и п.3.7, только дополнительно использовались спутники ГЛОНАСС



#### 4. Рекомендации и пояснения пользователям альманаха целостности

Настоящий альманах предназначен для информирования пользователей взаимодополняющих систем ГЛОНАСС/GPS о реальном уровне погрешности позиционирования в РФ на отчетном интервале времени.

При расчетах использованы стандартные алгоритмы навигационной аппаратуры потребителей по учету дополнительных задержек навигационных сигналов спутников в атмосфере Земли и ближнем космическом пространстве, что позволяет получать оценку погрешности, максимально приближенную к реальной. Имея оценку погрешности позиционирования, пользователь может соотнести ее с допустимой погрешностью позиционирования для выполняемой прикладной задачи и оценить пригодность (целостность) навигационного поля для своих нужд для любой области РФ.

Результаты проведенных оценок представлены в альманахе в виде трехмерных графиков, горизонтальная плоскость которых – есть географические координаты точки в РФ, по вертикали – значения оцениваемого параметра для этой точки. Для справки на тех же графиках указаны координаты расположения опорных станций навигационных измерений, включенных в расчет погрешности поля ГЛОНАСС/GPS.

Представленная информация разбита на два блока:

- оценка целостности поля только GPS;
- оценка целостности взаимодополняющего поля ГЛОНАСС/GPS.

Из-за недостаточного рабочего созвездия получить адекватную оценку целостности только поля ГЛОНАСС не представляется возможным, поэтому эти сведения в альманахе не приводятся.

Каждый информационный блок содержит:

а) оценку целостности поля для штатного режима позиционирования потребителя (с использованием бортовых эфемерид спутников). Предоставляется следующая информация:

- график-карта точности местоопределения (основная информация целостности);

- график-карта наихудшей точности позиционирования, зафиксированная на отчетном периоде наблюдений (информация потребителю для экспресс-анализа состояния поля);

- график- карта PDOP мониторинга целостности (дополнительная поясняющая информация);

б) оценка целостности поля при позиционировании с учетом уточненных эфемерид (например, от системы СДКМ). Состав информации идентичен описанному выше в п.а). Эти сведения демонстрируют потенциально достижимый уровень точности полей с учетом глобальных поправок.

Сущность представленной на графиках информации поясняется определениями, приведенными в разделе 2 «Принятые обозначения и их описания». Дополнительно следует подчеркнуть, что в отличие от принятого в спутниковой навигации определения PDOP, в данном альманахе в расчетах использован «PDOP мониторинга целостности», который учитывает только спутники, видимые как минимум с двух станций, включая опорную. Поэтому на краях рабочей зоны, при ограниченном числе станций, значение этого PDOP возрастает, что вызывает ухудшение точности оценки целостности в граничных областях РФ.

## 5. Заключение и выводы к настоящему выпуску альманаха целостности

Анализируя представленные в данном выпуске альманаха графики, можно сделать следующие выводы. На интервале времени с 08.11.2007 15:00:00 по 09.11.2007 00:00:00:

- 5.1. При позиционировании только по системе GPS с эфирными штатными эфемеридами, в среднем для территории РФ ошибка определения местоположения не превысит 12.383 м. Причем максимальная мгновенная ошибка не превысит 23.186 м для всей РФ.
- 5.2. При позиционировании только по системе GPS с уточненными эфемеридами, в среднем для территории РФ ошибка определения местоположения не превысит 11.078 м. Причем максимальная ошибка не превысит 24.558 м для всей РФ.
- 5.3. При позиционировании по системам ГЛОНАСС и GPS с эфирными эфемеридами в среднем для территории РФ ошибка определения местоположения не превысит 9.011 м. Причем максимальная ошибка не превысит 22.207 м для всей РФ.
- 5.4. При позиционировании по системам ГЛОНАСС и GPS с уточненными эфемеридами в среднем для территории РФ ошибка определения местоположения не превысит 8.206 м. Причем максимальная ошибка не превысит 20.538 м для всей РФ.

Т.о., представленный альманах целостности дает оценку гарантированной точности навигационных полей (ГЛОНАСС + GPS) и GPS для всей территории РФ. Каждый пользователь систем ГЛОНАСС/GPS может, пользуясь представленными в альманахе картами точностей местоопределения и, предварительно, выбрав приемлемый для своей задачи порог допустимой погрешности позиционирования, определить пригодности (т.е. целостность) системы ГЛОНАСС и GPS для своих нужд в пределах РФ.

Сводные результаты мониторинга целостности для разных групп потребителей сведены в таблице 5.1.

Таблица 5.1

Таблица сводных результатов мониторинга целостности систем ГЛОНАСС и GPS по эфирным эфемеридам для разных задач по группам потребителей.

Потребители	Решаемые задачи	Погрешность местопределения (СКП)	Результат: Целостность систем ГЛОНАСС и GPS для решаемой задачи (%)
Воздушные	Полеты по маршруту (трассе)	250 м	100 <sup>1</sup>
	Полеты в зоне аэродрома	370 м	100 <sup>1</sup>
Морские	Плавание в открытом море (океане)	1.8 км	100 <sup>1</sup>
	Плавание в прибрежной зоне	100м	100 <sup>1</sup>
	Прохождение узкостей, заходы в порты (гавани)	20м	100 <sup>1</sup>
Речные	Движение судов по внутренним водным путям: свободные реки	5 м	98.901 <sup>1</sup>
	каналы	3 м	2.747 <sup>1</sup>
Наземные	Движение наземного транспорта по произвольным маршрутам (одиночные средства и группировки)	100 м	100 <sup>1</sup>

Из таблицы следует, что на отчетном интервале времени с 08.11.2007 15:00:00 по 09.11.2007 00:00:00 целостность систем ГЛОНАСС/GPS в абсолютном режиме позиционирования (т.е. по бортовым эфемеридам) обеспечивалась в среднем на 100% территории РФ для всех групп потребителей, кроме речного транспорта. В последнем случае требуется использование дифференциальных поправок.

<sup>1</sup> Учитывается максимальная ошибка из п.5.3