

ГЛОБАЛЬНАЯ НАВИГАЦИОННАЯ СПУТНИКОВАЯ СИСТЕМА ГЛОНАСС — НАЦИОНАЛЬНОЕ ДОСТОЯНИЕ РОССИИ

В.В. Глушков (МИРЭА)

В 1977 г. окончил геодезический факультет Военно-инженерной академии им. В.В. Куйбышева, в 1980 г. — очную адъюнктуру в 29-ом НИИ МО СССР. С 2004 г. — профессор Московского государственного университета путей сообщения (МИИТ), с 2015 г. по настоящее время — профессор Московского технологического университета (МИРЭА). Доктор географических наук, доктор технических наук. Действительный член (академик) Российской академии космонавтики им. К.Э. Циолковского.

18 января 2016 г. исполнилось 20 лет с того дня, когда впервые до полного штатного состава была развернута орбитальная группировка навигационных космических аппаратов (НКА) российской ГЛОБАЛЬНОЙ НАВИГАЦИОННОЙ СПУТНИКОВОЙ СИСТЕМЫ (ГЛОНАСС). В этот день стал использоваться по целевому назначению 24-й НКА, запущенный в декабре 1995 г. [1]. В 1995–2001 гг. — в связи с разразившимся экономическим кризисом и недостаточным финансированием ракетно-космической отрасли — произошла деградация системы ГЛОНАСС: количество действующих НКА уменьшилось до шести, наземный комплекс управления нуждался в обновлении, востребованность и эффективность использования системы значительно понизились. С учетом этого были предприняты колоссальные усилия по восстановлению и дальнейшему развитию системы ГЛОНАСС. В частности, Постановлением Правительства РФ от 20 августа 2001 г. № 587 была утверждена Федеральная целевая программа (ФЦП) «Глобальная навигационная система» на 2002–2011 гг. Когда эта программа была успешно заверше-

на, орбитальная группировка включала 31 НКА, 24 из которых использовались по целевому назначению.

Постановлением Правительства РФ от 3 марта 2012 г. № 189 была утверждена ФЦП «Поддержание, развитие и использование системы ГЛОНАСС на 2012–2020 годы» [2]. Целью новой ФЦП является «расширение внедрения и использования отечественных спутниковых навигационных технологий и услуг с использованием системы ГЛОНАСС в интересах специальных и гражданских (в том числе коммерческих и научных) потребителей, международного использования российских технологий спутниковой навигации за счет поддержания и развития системы ГЛОНАСС».

В настоящее время система ГЛОНАСС — это национальное достояние России. Она широко используется в социально-экономическом развитии и обеспечении обороноспособности страны. Это символ интеллектуального потенциала России, платформа инновационной деятельности и самый узнаваемый бренд в области высоких технологий.

Первоначально глобальная навигационная спутниковая сис-

тема (ГНСС) ГЛОНАСС разрабатывалась для обороны государства, а позже и для применения в гражданских целях [3]. Ее главными разработчиками были:

— Научно-производственное объединение прикладной механики (в настоящее время — АО «Информационные спутниковые системы» им. академика М.Ф. Решетнева, Железнодорожск, Красноярский край) — орбитальная группировка НКА и программное обеспечение управления группировкой;

— Производственное объединение «Полет» (в настоящее время — филиал ФГУП «ГКНПЦ им. М.В. Хруничева», Омск) — НКА;

— Российский научно-исследовательский институт космического приборостроения (в настоящее время — АО «Российская корпорация ракетно-космического приборостроения и информационных систем» — АО «Российские космические системы») — наземный комплекс управления, бортовая аппаратура НКА и навигационная аппаратура пользователей;

— Российский институт радионавигации и времени (Санкт-Петербург) — спутниковая и наземная аппаратура систем синхронизации и времени.

Система ГЛОНАСС предназначена для оперативного навигационно-временного обеспечения неограниченного числа объектов космического и воздушного базирования (на высотах до 2 тыс. км), морских и наземных подвижных средств, а также для высокоточного координатного обеспечения геодезических, инженерно-строительных, земле-строительных и других работ.

В настоящее время система ГЛОНАСС состоит из:

- космической подсистемы, включающей орбитальную группировку НКА и ракетно-космический комплекс;
- наземного комплекса управления;
- комплекса средств функциональных дополнений;
- комплексов средств фундаментального обеспечения;
- подсистемы потребителей.

Орбитальная группировка системы ГЛОНАСС включает 24 штатных НКА, размещенных в трех орбитальных плоскостях, по 8 НКА в каждой плоскости (рис. 1). При этом орбитальные плоскости разнесены равномерно вдоль экватора через 120° . В орбитальных плоскостях НКА расположены между собой равномерно через 45° .

НКА обращаются вокруг Земли по близкруговым орбитам на высоте около 19 100 км, поэтому систему ГЛОНАСС относят к средневысотным. Период обращения НКА вокруг Земли составляет 11 ч 15 мин 44 с. Плоскости орбит наклонены к плоскости земного экватора под углом $64,8^\circ$.

Интервал повторяемости трасс движения НКА и зон радиовидимости НКА наземными средствами составляет 17 витков. При этом начало каждого витка НКА вокруг Земли смещается, а каждые 7 суток 23 ч 27 мин 28 с НКА проходит над одними и теми же точками на поверхности Земли [4].

В целом орбитальная группировка НКА представляет собой совокупность источников радионавигационных сигналов, передающих одновременно значительный объем служебной информации. Она создает в околоземном пространстве глобальное радионавигационное поле, позволяющее потребителям определять пространственные координаты, скорость, направление движения и поправки «часов». (*«Часы» здесь и далее — это хроноизатор или генератор стабильных частотных колебаний, задающий временные характеристики импульсов, метки местного времени.*) При этом пользователь системы ГЛОНАСС может гарантированно принимать одновременно сигналы от 4–6 НКА.

НКА ГЛОНАСС первого поколения был запущен на орбиту 12 октября 1982 г., последний — 25 декабря 2005 г. Первый модифицированный НКА ГЛОНАСС-М запущен 26 декабря 2004 г., последний — 7 февраля 2016 г. Первый унифицированный НКА ГЛОНАСС-К1 запущен 26 февраля 2011 г., второй — 1 декабря 2014 г.

Изображения перечисленных НКА, их основные технические характеристики и состав современной орбитальной группировки приведены, соответственно, на рис. 2 [5] и в таблицах 1 [5], 2 [6].

Заметим, что 9 НКА ГЛОНАСС-М, находящиеся на орбитах, уже исчерпали свой ресурс. Однако при этом 7 из них работают безотказно, а 2 находятся на исследовании главного конструктора [7]. Их плановая замена на НКА ГЛОНАСС-К начнется в 2017–2018 гг.

Основными функциями каждого НКА являются формирование и излучение маломощных радиосигналов, необходимых для навигационных потребителей и контроля бортовых систем.

В состав бортовой аппаратуры НКА входят:

- навигационный комплекс;
- комплекс управления;

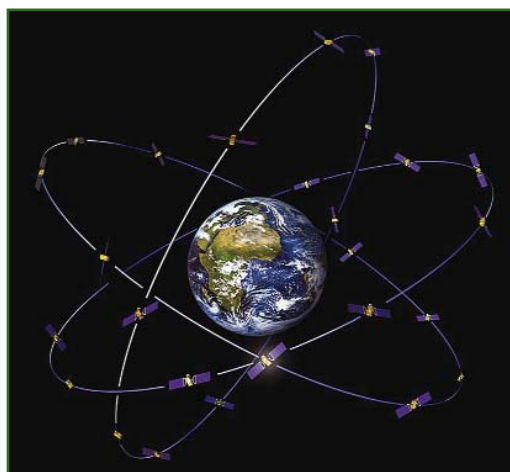


Рис. 1
Орбитальная группировка НКА системы ГЛОНАСС



Рис. 2
НКА ГЛОНАСС (а), ГЛОНАСС-М (б), ГЛОНАСС-К1 (в)

Основные технические характеристики НКА системы ГЛОНАСС

Таблица 1

Наименование характеристики	Наименование НКА		
	ГЛОНАСС	ГЛОНАСС-М	ГЛОНАСС-К
Технический ресурс, годы	3	7	10
Масса, кг	1413	1415	935
Мощность системы электропитания, Вт	1000	1450	1600
Нестабильность бортового синхронизирующего устройства, б/р	5×10^{-13}	1×10^{-13}	5×10^{-14}
Погрешность ориентации на Землю, угл. градус	0,5	0,5	0,5
Погрешность ориентации на Солнце, угл. градус	2	2	2
Полезная нагрузка:			
— масса, кг;	225	250	260
— энергопотребление, Вт	675	580	750

Состав орбитальной группировки НКА по состоянию на 11 февраля 2016 г.

Таблица 2

Всего в составе системы ГЛОНАСС	28 НКА
Используются по целевому назначению	23 НКА ГЛОНАСС-М
На этапе ввода в систему	1 НКА ГЛОНАСС-М (запущен 7 февраля 2016 г.)
Временно выведены на техобслуживание	—
Орбитальный резерв	1 НКА ГЛОНАСС-М
На этапе летных испытаний	1 НКА ГЛОНАСС-К1
На исследовании главного конструктора	2 НКА ГЛОНАСС-М, 1 НКА ГЛОНАСС-К1

- система ориентации и стабилизации;
- система коррекции;
- система терморегулирования;
- система электроснабжения и др.

НКА ГЛОНАСС-К1 отличается от своих предшественников не только конструктивно, но и более продолжительным техническим ресурсом, повышенной мощностью энергопитания, более стабильной работой синхронизирующего устройства, меньшей массой. Кроме того, на его борту размещены: дополнительная полезная нагрузка — бортовой радиокомплекс, функционирующий как элемент международной космической системы поиска и спасения терпящих бедствие морских судов и самолетов, а также аппаратура, предназначенная для межспутниковых измерений (в том числе и в рамках разрабатываемого

космического геодезического комплекса третьего поколения Гео-ИК-2) и информационного обмена по межспутниковой радиолинии [8].

Способ разделения радиосигналов, излучаемых НКА ГЛОНАСС-М, — частотный (по международному стандарту FDMA — Frequency Division Multiple Access), т. е. каждый НКА излучает сигналы на только ему свойственной частоте, при этом дальномерный код одинаков для всех НКА. Это, с одной стороны, приводит к усложнению и укрупнению приемной аппаратуры потребителей, а с другой — повышает помехозащищенность всей системы, поскольку создать внешние помехи для многочастотной системы гораздо сложнее.

Сигналы НКА системы ГЛОНАСС идентифицируются по значению номинала их несущей частоты, лежащей в отведенной полосе частот. Для ГЛОНАСС-М

предусмотрены две частотные полосы в диапазонах L1 (1592,06–1605,38 МГц) и L2 (1242,94–1248,62 МГц). В указанных диапазонах НКА ГЛОНАСС-М излучает сигнал стандартной точности, доступный российским и зарубежным гражданским потребителям, и сигнал высокой точности, доступный только российским специальным потребителям [9].

НКА ГЛОНАСС-К1 кроме перечисленных сигналов излучает новые, с частотным разделением в диапазоне L3 (1190,35–1212,23 МГц), и сигналы с кодовым разделением (CDMA — Code Division Multiple Access) на частотах 1575 МГц (диапазон L1) и 1176 МГц (диапазон L5) [10]. Полагают, что кодовое разделение сигналов позволит увеличить точность навигационных определений системы ГЛОНАСС, сделает ее взаимодополняемой с другими подобными системами (GPS

(США), Galileo (ЕС) и BeiDou (КНР)), с российскими и зарубежными системами дифференциальной коррекции и мониторинга, а также позволит существенно снизить вес и габариты аппаратуры потребителя.

По оценкам специалистов, для перехода на «новые» сигналы потребуется не менее 10–12 лет. Примерно такое же время в состав орбитальной группировки будет входить НКА ГЛОНАСС-М, ГЛОНАСС-К1, ГЛОНАСС-К2 (первый его запуск планируется в начале 2018 г.) [1].

Предполагается, что в недалекой перспективе штатная группировка системы ГЛОНАСС будет увеличена до 30 НКА, а для повышения точности навигационных определений в приполярных районах земного шара (Арктика, Антарктика) будут дополнительно использоваться еще 4–6 космических аппарата, запущенные на геосинхронные орбиты с высотой полета порядка 36 тыс. км [11].

В состав **ракетно-космического комплекса** системы ГЛОНАСС входят космодромы «Байконур» (Республика Казахстан) и «Плесецк» (Российская Федерация). Они обеспечивают периодическое восполнение орбитальной группировки НКА по мере их выхода из строя или выработки ресурса. Главными

объектами типового космодрома являются техническая позиция и стартовый комплекс. Техническая позиция предназначена для приема, хранения и сборки ракет-носителей с НКА, их испытания, заправки и состыковки. Стартовый комплекс обеспечивает доставку ракеты-носителя с НКА на стартовую площадку, ее установку на пусковую систему для проведения предполетных испытаний, заправки, наведения и пуска.

Выведение НКА ГЛОНАСС-М на орбиту до недавнего времени осуществлялось ракетой-носителем тяжелого класса «Протон» («Протон-К», «Протон-М») с разгонным блоком «Бриз-М» с космодрома «Байконур». При этом носитель был способен вывести на орбиты одновременно три НКА системы ГЛОНАСС. Одиночные запуски НКА ГЛОНАСС-К1, а с 2016 г. и НКА ГЛОНАСС-М, выполняют с космодрома «Плесецк» с помощью универсальной ракеты-носителя «Союз-2.1б» с разгонным блоком «Фрегат» (рис. 3).

Наземный комплекс управления (НКУ) предназначен для решения двух основных задач [12]:

1. Управление орбитальной группировкой НКА: контроль бортовых систем, закладка на борт управляющих команд и

специальной информации, поддержание заданной конфигурации группировки НКА, планирование, проведение регламентных работ, принятие необходимых мер в нестандартных ситуациях и др.

2. Эфемеридно-временное обеспечение: определение параметров орбит НКА, расхождение «часов» каждого НКА относительно системной шкалы времени, передача на борт НКА информации об их точном положении и расхождении бортовых «часов» с системной шкалой времени для последующей передачи в навигационном сигнале указанной информации потребителям, контроль характеристик навигационного поля и др.

НКУ (рис. 4, [13]) включает центр управления системой ГЛОНАСС (ЦУС), наземный командный пункт (НКП), центральный синхронизатор (ЦС), аппаратуру контроля временных шкал (АКВШ) и аппаратуру контроля навигационного поля (АКНП), сеть наземных командно-измерительных пунктов (КИП) и квантово-оптического измерительного пункта (КОИП). НКУ предназначен для обеспечения НКА служебной информацией, необходимой при проведении навигационных сеансов, а также для контроля и управления НКА.

Модернизация НКУ (в том числе развертывание сети беззапросных измерительных станций и дальнейшее ее расширение за счет использования пунктов Государственной геодезической сети и пунктов Государственной службы времени и частоты) была, в основном, завершена в 2013 г.

Комплекс средств функциональных дополнений представляет собой совокупность специальной аппаратуры космического и наземного базирования и предназначен для обеспечения потребителей в



Рис. 3

Универсальная ракета-носитель «Союз-2.1б» (www.roscosmos.ru)

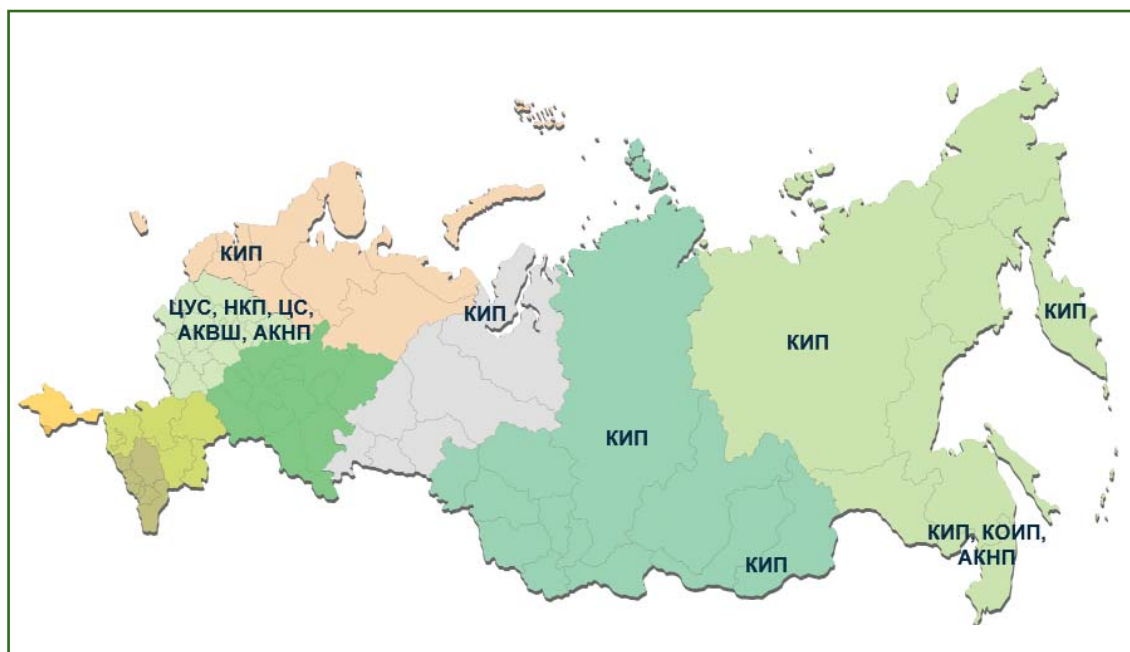


Рис. 4

Инфраструктура наземного комплекса управления системой ГЛОНАСС

определенном регионе или локальной области следующими возможностями:

- повышение точности навигационных определений почти на порядок за счет применения дифференциальных методов измерений;

- мониторинг целостности характеристик ГНСС и оперативное доведение до потребителей информации о случаях аномального функционирования НКА, а также уточненной эфемеридно-временной информации, корректирующей информации к измерениям, информации о качестве функционирования ГНСС и др.

Важно подчеркнуть, что развитие функциональных дополнений и, в частности, широкозонной системы дифференциальной коррекции и мониторинга (СДКМ), осуществляющей вычисление и передачу дифференциальных поправок к НКА систем ГЛОНАСС и GPS, находится в числе приоритетных задач российской спутниковой навигации. Головным разработчиком СДКМ является АО «Российские космические системы» [11].

СДКМ состоит из следующих сегментов: космического, наземного и аппаратуры потребителей.

В космический сегмент СДКМ, кроме НКА систем ГЛОНАСС и GPS, входят геостационарные космические аппараты — ретрансляторы «Луч-5А», «Луч-5Б» и «Луч-5В», которые передают на наземный сегмент и сегмент аппаратуры потребителей служебную и измерительную информацию.

В наземный сегмент СДКМ входят:

- Центр глобального мониторинга, задачей которого является обработка результатов измерений и формирование информации о целостности навигационного обеспечения, корректирующей информации;

- станции сбора измерений (ССИ), на оснащении которых имеется двухсистемный приемник ГЛОНАСС/GPS, способный выполнять измерения по НКА указанных систем;

- пункты информационного обмена между различными компонентами СДКМ (доставки информации, контроля информации и др.).

В настоящее время в состав наземного сегмента СДКМ входит 19 ССИ, расположенных на территории РФ, 3 станции — в Антарктике («Беллинсгаузен», «Новолазаревская» и «Прогресс») и 2 станции — в Бразилии. В перспективе на территории РФ планируется развернуть 46 ССИ, а за ее пределами — 10: на антарктических станциях «Мирный» и «Русская», на Кубе, в Бразилии, Аргентине, Алжире, Кабо-Верде, Нигерии, ЮАР, Индии, во Вьетнаме, на острове Паслиин в Индийском океане и на островах Фиджи в Тихом океане [1].

В сегмент аппаратуры потребителей входят различные системы мониторинга за воздушным, наземным и морским транспортом. При полном развертывании СДКМ позволит обеспечить потребителей возможностью определять свои координаты с дециметровой и сантиметровой точностью, будет гармонично дополнять существующие локальные дифференциальные подсистемы различной ведомственной подчиненности за счет большей зоны

покрытия, распределенной сети российских и зарубежных станций, принадлежащих различным международным службам (WAAS (США), EGNOS (ЕС), GAGAN (Индия) и MSAS (Япония)).

По оценкам специалистов, новые навигационные радиосигналы с кодовым разделением каналов (НКА ГЛОНАСС-К1) и полное развертывание СДКМ обеспечат не только повышение качества навигационных услуг системы ГЛОНАСС, но и создадут благоприятные предпосылки для построения региональной высокоточной навигационной системы, которая позволит потребителям решать целевые задачи с высокой точностью не только на территории России, но и в государствах Европы, Ближнего и Дальнего Востока [11].

Комплексы средств фундаментального обеспечения системы ГЛОНАСС представляют собой совокупность распределенных по назначению измерительных средств, предназначенных для получения и распространения высокоточной координатно-временной информации, необходимой для обеспечения бесперебойной работы системы ГЛОНАСС и ее функциональных дополнений. В их числе [14]:

- комплекс средств определения и прогнозирования параметров вращения Земли, предназначенный для установления, поддержания и расширения небесной системы координат радиостанций, еженедельных высокоточных определений Всемирного времени UT и длительности суток, координат географического полюса Земли, углов нутации и прецессии;

- комплекс средств формирования Национальной координированной шкалы времени России UTC (SU) — опорной для системы ГЛОНАСС, предназначенный для ежедневных определений Всемирного времени UT;

- комплекс средств уточнения фундаментальных астрономических и геодезических параметров, предназначенный для обеспечения пользователей эфемериды НКА, параметрами гравитационного поля Земли, земной атмосферы и др. Для геодезического обеспечения орбитальных полетов и решения навигационных задач в РФ используется общеземная геоцентрическая система координат «Параметры Земли 1990 года» (ПЗ–90.11) [15];

- комплекс метрологического обеспечения приемной спутниковой геодезической аппаратуры (ПСГА), предназначенной для высокоточных измерений сверхдлинных баз.

Подсистема потребителей состоит из множества комплектов навигационной аппаратуры потребителей (НАП), размещенных на наземных, морских, воздушных и космических подвижных объектах, а также ПСГА, используемой при выполнении геодезических и других высокоточных работ. Подсистема потребителей осуществляет прием служебной и навигационной информации с НКА, измерение радионавигационных параметров, связывающих положение приемной аппаратуры с положением НКА, на их основе определение навигационных параметров, их обработку и затем вычисление координат (для НАП, ПСГА), а также путевой скорости, поправки «часов», направления движения объекта (для НАП), азимутов направлений и расстояний между двумя точками (для ПСГА).

НАП и ПСГА функционируют в так называемом пассивном режиме, предусматривающем прием радиосигналов от НКА, поэтому навигационно-геодезическими услугами может бесплатно пользоваться неограниченное число потребителей.

По оперативности и точности НАП системы ГЛОНАСС находят-

ся на уровне лучших мировых аналогов (например, НАП системы GPS). В настоящее время точность решения навигационной задачи составляет 2,7 м, а к 2020 г. ожидается ее уменьшение до 0,6 м [1]. Однако на практике НАП системы ГЛОНАСС используется пока только российскими специальными потребителями. НАП гражданского назначения, а также ПСГА выпускаются, как правило, двухсистемными, т. е. работающими одновременно по сигналам систем ГЛОНАСС и GPS.

ПСГА обычно используется в комплекте из двух приборов и обеспечивает получение высокоточных результатов (сантиметровой и миллиметровой точности) в режимах, требующих накопления данных с последующей обработкой на персональном компьютере.

Основными функциями такой аппаратуры являются:

- автоматический выбор сигналов НКА;

- прием и обработка сигналов систем ГЛОНАСС и GPS;

- определение координат в «навигационном» и «геодезическом» режимах работы с накоплением и усреднением результатов измерений в течение нескольких часов;

- выдача на индикацию текущих координат определяемой точки в системах WGS–84, ПЗ–90.11;

- оценка точности определения координат;

- прием, хранение и обновление альманахов систем ГЛОНАСС и GPS;

- ввод координат маршрутных точек;

- определение азимута и расстояния от текущей точки до любой другой точки или между двумя выбранными точками;

- запоминание и хранение текущих координат;

- прием и учет корректирующей информации и др.

Области использования результатов совместного функ-

ционирования систем ГЛОНАСС и GPS будут рассмотрены в следующих статьях автора.

▼ Список литературы

1. Межотраслевой журнал навигационных технологий «Вестник ГЛОНАСС». — <http://vestnik-glonass.ru>.
2. Федеральная целевая программа «Поддержание, развитие и использование системы ГЛОНАСС на 2012–2020 годы». Утверждена Постановлением Правительства РФ от 3 марта 2012 г. № 189.
3. Постановление Правительства РФ от 7 марта 1995 г. № 237 «О проведении работ по использованию глобальной навигационной спутниковой системы ГЛОНАСС в интересах гражданских потребителей».
4. Соловьев Ю.А. Спутниковая навигация и ее приложения. — М.: Эко-Трендз, 2003. — 326 с.
5. АО «Информационные спутниковые системы» им. академика М.Ф. Решетнева. — www.iss-reshetnev.ru.
6. Информационно-аналитический центр координатно-временного и навигационного обеспечения ФГУП ЦНИИмаш. — www.glonass-iac.ru.
7. Российская система дифференциальной коррекции и мониторинга (СДКМ). — www.sdcm.ru.
8. Косенко В.Е., Сторожев С.В., Звонарь В.Д. и др. Комплексные исследования по обоснованию путей создания, принципов построения, определению проектного облика космической системы глобального геодезического мониторинга // Доклад на заседании секции № 3 НТС ФГУП ЦНИИмаш по вопросу «Общий замысел геодезических направлений исследований в рамках НИР «Развитие» от 28 мая 2013 г.».
9. ГОСТ 32454–2013 Глобальная навигационная спутниковая система. Параметры радионавигационного поля. Технические требования и методы испытаний.
10. Поваляев А.А., Бакитько Р.В. Разработка новых навигационных радиосигналов ГЛОНАСС с кодовым разделением в выделенных диап-

зонах частот // Ракетно-космическое приборостроение и информационные системы. — 2014. — Т. 1. — Выпуск 1. — С. 61–67.

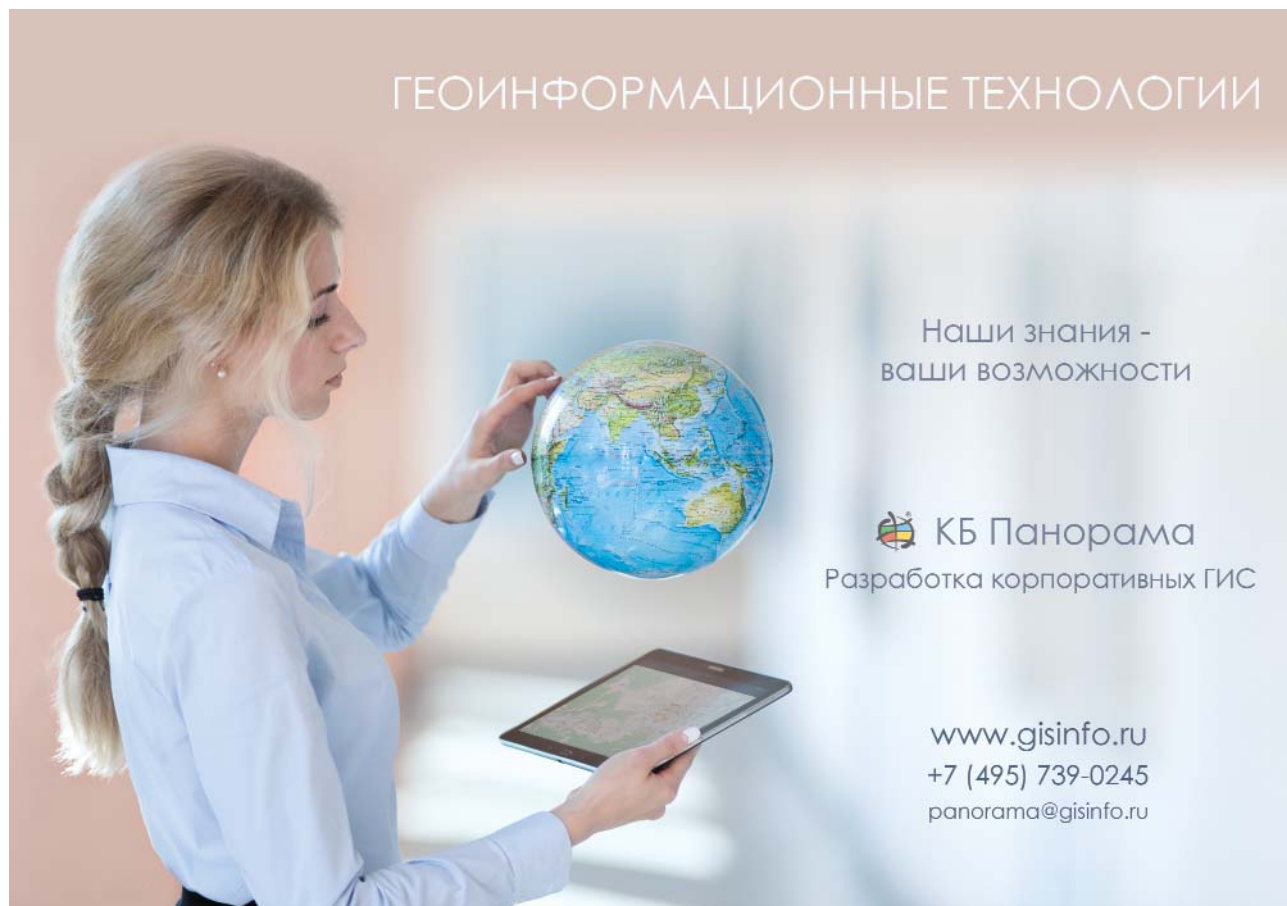
11. Малышев В.В., Куршин В.В., Ревнивых С.Г. Введение в спутниковую навигацию: Учебное пособие. — М.: Изд-во МАИ-ПРИНТ, 2008. — 192 с.

12. Ступак Г., Дворкин В., Карутин С. ГЛОНАСС вчера, сегодня и завтра // Сети/network world. — 2008. — № 06.

13. Глобальная спутниковая радионавигационная система ГЛОНАСС / Под ред. В.Н. Харисова, А.И. Перова, В.А. Болдина. — 2-е изд. исправ. — М.: ИПРЖР, 1999. — 560 с.


14. Ипатов А.В., Варганов М.Е. Комплекс средств фундаментального координатно-временного обеспечения ГНС ГЛОНАСС // Доклад на Всероссийской конференции «Электроника и микроэлектроника СВЧ», Санкт-Петербург, 3–6 июня 2013 г.

15. Параметры Земли 1990 года (ПЗ–90.11). Справочный документ. ВТУ ГШ ВС РФ, 2014.



ГЕОИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

Наши знания -
ВАШИ ВОЗМОЖНОСТИ

 КБ Панорама
Разработка корпоративных ГИС

www.gisinfo.ru
+7 (495) 739-0245
panorama@gisinfo.ru