

Континентальные и национальные системы координат

Геодезическая система координат является главной составной частью системы геодезического обеспечения. Понятие «Система геодезического обеспечения» эволюционировало с развитием геодезии, как и любого направления научной и практической человеческой деятельности, под влиянием двух основных факторов: востребованностью в обществе на данном этапе развития экономики с одной стороны и уровнем развития технических средств и технологий для реализации этой деятельности с другой. Эволюция понятия «Система геодезического обеспечения» от определения «производственный процесс, заключающийся в создании геодезических информационных ресурсов для проведения специальных геодезических работ» в Стандарте отрасли «Виды и процессы геодезической и картографической производственной деятельности. Термины и определения» [3] до современного понимания - совокупность правовых, организационных, научно-технических и производственных мероприятий, основной целью которых является выполнение требований экономики, науки, обороны и безопасности к точности и оперативности определения местоположения точек на поверхности Земли; а так же в подповерхностном слое Земли, приповерхностном слое атмосферы Земли и околоземном пространстве в единой системе координат, высот и параметров внешнего гравитационного поля Земли. В соответствии с этими требованиями строятся структура и порядок функционирования системы, определяется состав технических средств и методов. Естественно, что по мере развития технических средств, геодезической науки и изменений требований к точности и оперативности координатных определений должна претерпевать изменения и сама структура системы геодезического обеспечения [50, 51, 52, 83, 84]. Общая предварительная структура сетевой информационно-технологической системы геодезического обеспечения Российской Федерации была опубликована в 2016 г. в журнале «Геопрофи» [71], в 2017 г. в материалах форума «Великие реки» [44] и

в материалах XIX Национальной научной конференции с международным участием «Модернизация России: приоритеты, проблемы, решения» [64]. В системе геодезического обеспечения принято выделять три вида и четыре уровня обеспечения [44, 64, 67, 68]. Виды обеспечения:

- координатное (система геодезических координат);
- высотное (система нормальных высот);
- гравиметрическое (система гравиметрических измерений).

Уровни обеспечения:

- установление систем координат, высот, гравиметрических измерений;
- распространение установленных систем координат, высот, гравиметрических измерений на заданную территорию;
- контроль стабильности установленных систем координат, высот, гравиметрических измерений в пределах заданной территории;
- предоставление потребителям возможности определения местоположения в установленных системах координат, высот и гравиметрических измерений.

Общая структура сетевой информационно-технологической системы геодезического обеспечения представлена на рис. 15 [44, 64, 67, 68].

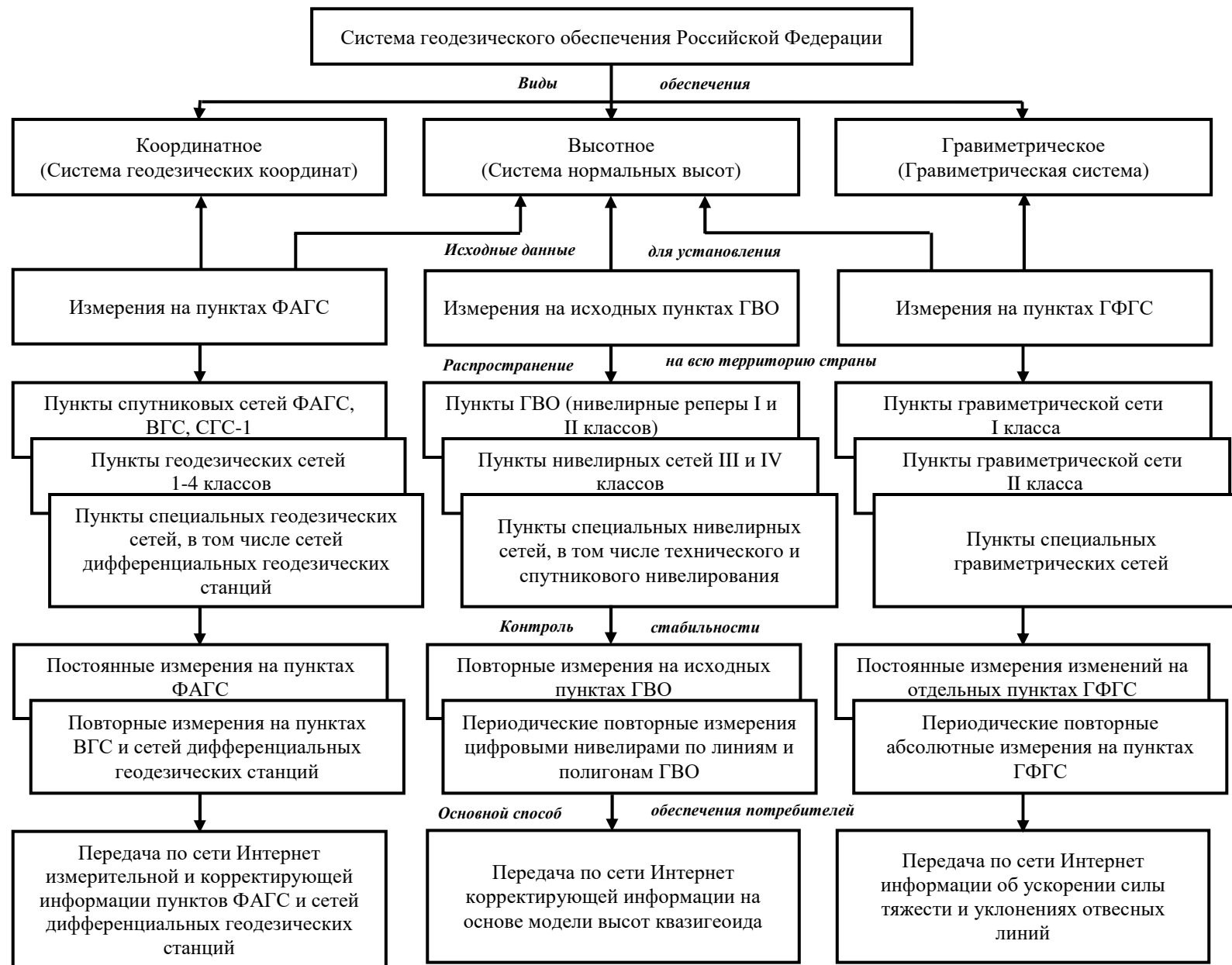


Рис. 15. Общая структура сетевой информационно-технологической системы геодезического обеспечения Российской Федерации

Континентальные системы координат

В 1987 году решением Генеральной Ассамблеи Международного геодезического и геофизического союза - МГТС (International Union of Geodesy and Geophysics, IUGG) была создана подкомиссия SC1.3 Международной ассоциации геодезии IAG по региональным опорным сетям. SC1.3 включает 6 региональных подкомиссий ответственных за соответствующие региональные блоки, а именно: региональная подкомиссия по Европе (SC1.3a Regional Reference Frame Sub-Commission for Europe) - EUREF, региональная подкомиссия по Южной и Центральной Америке (SC1.3b South and Central America) - SIGRAS (Sistema de Referencia Geocentrico para Las Americas - исп.), региональная подкомиссия по Северной Америке (SC1.3c North America) - NAREF, региональная подкомиссия по Африке (SC1.3d Africa) - AFREF, региональная подкомиссия по Азиатско-Тихоокеанскому региону (SC1.3e Asia-Pacific), региональная подкомиссия по Антарктике (SC1.3f Antarctica) - SCAR (Scientific Committee on Antarctic Research) [114].

Наиболее авторитетной и продолжительно функционирующей из 6 региональных подкомиссий SC1.3 Международной ассоциации геодезии IAG является Региональная подкомиссия по Европе - EUREF (SC1.3a Regional Reference Frame Sub-Commission for Europe), включающая не только постоянно действующий аппарат, но и Правление EUREF (EUREF Governing Board - EUREF-GB), бывшая техническая рабочая группа (EUREF Technical Working Group - TWG). В Резолюции 1, принятой EUREF в 1990 году, рекомендовано использовать Европейскую систему (European Terrestrial Reference System (ETRS89)), совпадающую с Международной системой ITRS в эпоху 1989.0 и связанную со стабильной частью Евразийской платформы. Техническая рабочая группа EUREF (TWG) не рекомендовала использовать ETRF2005, а ограничиться реализацией ETRF2000. Однако, для использования реализаций ITRF2005 и ITRF2008, техническая рабочая группа также рекомендовала, чтобы все Европейские станции (GNSS, РСДБ, лазерная локация ИСЗ и ДОРИС), которые включены в ITRF публиковали координаты и скорости в реализациях ETRF2000 со следующими обозначениями ETRF2000(R05) и ETRF2000(R08) [94].

После выхода ITRF2014, резолюция EUREF № 1 2017 года отмечая улучшенную точность и стабильность исходных и масштабных параметров ITRF2014 и важность улучшения реализации ETRS89 на основе ITRF2014, призвала предоставить все определяющие параметры ETRF2014, происхождение которых совпадает с исходным и предоставить полный набор параметров преобразования между версиями ITRF и ETRF в обновленной технической записке. В той же резолюции также признаются различные требования, касающиеся национальных реализаций ETRS89, и решения разных стран о принятии их предпочтительных реализаций ETRS89, включая рекомендуемый ETRF2000 [94].

В настоящее время координаты и скорости Европейских станций ITRF (GNSS, VLBI, SLR и DORIS) преобразованы в соответствующие реализации ETRF (ETRF89, ETRF90, ETRF91, ETRF92, ETRF93, ETRF94, ETRF96, ETRF97,

ETRF2000, ETRF2005, ETRF2014), которые опубликованы на официальном сайте [94].

Европейская система ETRS не распространяется на значительную часть континента на территории Российской Федерации и Республики Беларусь, а ее практическая реализация ETRF не включает пункты спутниковых сетей этих государств.

Фактически из подкомиссий SC1.3 Международной ассоциации геодезии IAG по региональным опорным сетям понятию континентальной системы координат строго соответствует только региональный блок по Антарктиде и его региональная подкомиссия SC1.3f Antarctica

Австралия, несмотря на самую высокую скорость континентального дрейфа не удостоилась отдельного блока и вошла в региональную подкомиссию по Азиатско-Тихоокеанскому региону SC1.3e Asia-Pacific.

Геоцентрическая система координат Австралии (Geocentric Datum of Australia) GDA94 по сути является не только национальной системой координат, но и континентальной, поскольку из-за тектонических движений Австралийской плиты (примерно 70 мм в год в направлении северо-северо-восток) координаты пунктов на всем континенте существенно расходятся с общеземными системами координат.

Блока и соответствующей инфраструктуры ITRF по Восточной Европе, Северной и Средней Азии, покрывающих большую часть территории СНГ, нет. Нет также блока ITRF и по части Южной Азии, относящейся к Китаю.

Секция геодезии Национального геофизического комитета Российской Федерации регулярно представляет Международной ассоциации геодезии IAG Национальные доклады об основных результатах исследований, проводимых российскими геодезистами по темам, соответствующим направлениям деятельности Международной ассоциации геодезии [106, 107, 108]. Одним из основных разделов таких отчетов на протяжении ряда лет является Reference frames [111, 112, 113].

В 2011-2014 гг. ЦНИИГАиК совместно с Секцией геодезии Национального геофизического комитета подготовил предложения по созданию в составе подкомиссии SC1.3 Международной ассоциации геодезии IAG по региональным опорным сетям новой подкомиссии по региональной земной геодезической системе координат (основе) Северо-Восточной Евразии [21, 49, 69, 109, 110].

В результате проведенной работы были разработаны проект Соглашения об участии в подкомиссии Международной ассоциации геодезии по региональной земной опорной системе координат Евразии (SC 1.3 g Regional Reference Frame Sub-Commission for Europe-Asia - EAREF) и проект Положения о EAREF.

Проектом Положения было декларировано, что Подкомиссия Международной ассоциации геодезии по региональной земной опорной системе координат Евразии (SC 1.3 g Regional Reference Frame Sub-Commission for Europe-Asia - EAREF) является добровольным объединением организаций различной формы собственности и различной организационно-правовой

формы, распоряжающихся принадлежащими им на праве собственности или на ином законном основании геодезических пунктов и центров обработки, пригодных для создания и развития региональной земной опорной системы координат Евразии EATRF (European-Asian Terrestrial Reference Frame). Подкомиссия координирует научное сотрудничество между участниками подкомиссии в области создания и развития региональной земной опорной системы координат Евразии EATRF (European-Asian Terrestrial Reference Frame). Способствует развитию единых координатной, высотной и гравиметрической систем в Восточной Европе, Северной и Средней Азии, соответствующих территории Союзного государства (Россия, Белоруссия), Единого экономического пространства (Россия, Белоруссия, Казахстан), Союза Независимых Государств – СНГ, других государств Евразии.

Проектом Положения были определены задачи, предварительная структура, права подкомиссии EAREF, а также определение геодезических пунктов, которые могут участвовать в создании и развитии региональной земной опорной системы координат Евразии (пунктов EATRF).

Соглашением предусматривалось осуществлять:

- научное сотрудничество в рамках международной научной общественной организации Международная ассоциация геодезии (International Association of Geodesy - IAG) под эгидой Секции геодезии Национального геофизического комитета при Российской академии наук с целью создания и развития региональной земной опорной системы координат Евразии EATRF (European-Asian Terrestrial Reference Frame);

- геодезические и геофизические наблюдения, сбор, хранение и распространение измерительной информации, ее обработку (первичную и окончательную) в соответствии с едиными согласованными рекомендациями подкомиссии Международной ассоциации геодезии по региональной земной опорной системе координат Евразии (SC 1.3 g Regional Reference Frame Sub-Commission for Europe-Asia - EAREF);

- открытый взаимный обмен данными наблюдений и результатами обработки с использованием телекоммуникационных средств на основе единого регламента, а также передачу результатов обработки наблюдений в техническую рабочую группу региональной земной опорной системы координат Евразии EAREF TWG (EAREF Technical Working Group) и аналитические центры, обеспечивающие выработку согласованных решений (объединенных координатных решений, временных рядов изменений координат, моделей ионосферы, тропосферных задержек и других результатов).

Завершить проделанную работу помешали реорганизация ЦНИИГАиК и безвременная кончина ведущего идеолога этой работы Г. В. Демьянова. В настоящее время работа по созданию новой подкомиссии по региональной земной геодезической системе координат (основе) Северо-Восточной Евразии (SC 1.3 g Regional Reference Frame Sub-Commission for Europe-Asia - EAREF) продолжается.

Национальные системы координат

Помимо участия в создании и поддержании глобальных (общеземных) систем координат, высокоразвитые страны с большой территорией одновременно создают национальные спутниковые геодезические сети, реализующие национальные системы координат.

Современные национальные системы координат, с одной стороны, являются геоцентрическими, максимально приближенными к международной системе ITRS и ее практической реализации ITRF. С другой стороны, национальные системы координат оптимальным образом ориентированы на реализацию государственного геодезического и картографического потенциала, уже созданного к этому времени. Характерными примерами национальных систем координат являются системы координат США (National Spatial Reference System - NSRS), Канады (Canadian Spatial Reference System - CSRS), Австралии (Geocentric Datum of Australia - GDA), Китая (China Geodetic Coordinate System 2000 - CGCS 2000) и России (Геодезическая система координат 2011 года – ГСК-2011). Учитывая значительный территориальный охват таких систем координат, их практические реализации достаточно близки к глобальным (общеземным) системам. На рис. 16 показаны зоны действия таких систем координат [5, 21].



Рис. 16. Национальные геодезические системы координат [5, 21].

Национальная система координат США - NSRS

В США независимо от работ по поддержанию и развитию системы координат WGS-84, участия в работах по развитию и поддержанию международной земной системы координат ITRF и участия в работе

Международного сервиса ГНСС (International GNSS Service - IGS), в рамках десятилетнего плана Национальной геодезической съемки NGS (National Geodetic Survey) на 2008-2018 годы развивалась национальная пространственная система координат NSRS (National Spatial Reference System), оптимальным образом ориентированная на эффективное использование уже созданного в США геодезического и картографического потенциала.

NSRS базируется на Национальной спутниковой сети США, представляющей собой совокупность пунктов федеральной опорной сети (Federal Base Network — FBN), объединенной опорной сети (Cooperative Base Network — CBN) и пользовательской сети сгущения (User Densification Network — UDN).

Федеральная опорная сеть FBN представлена сетью постоянно действующих фундаментальных станций, расположенных через 100 км. Сеть обеспечивает пространственный контроль с наиболее высокой на сегодняшний день точностью (95%): 1 см для широт и долгот, 2 см для эллипсоидальной (геодезической) высоты, 3 см для ортометрической высоты, 50 мкГал для силы тяжести, 1 мм/год для движения земной поверхности.

Объединенная опорная сеть CBN объединяет постоянно действующие станции, расположенные на территории Соединенных Штатов на расстоянии 25–50 км одна от другой. Национальная геодезическая служба США (National Geodetic Survey — NGS) отвечает за CBN и оказывает помощь и консультации сотрудничающим учреждениям в осуществлении пространственного контроля в соответствии с принятыми федеральными стандартами и техническими условиями.

Пользовательская сеть сгущения UDN обеспечивает пространственную привязку локальных инфраструктурных проектов, а при необходимости — и контроль качества, архивирование и распространение данных пунктов UDN. Перед отправкой данных в NGS, организация — владелец пунктов UDN должна проверить их точность, используя программное обеспечение, поставляемое NGS.

Соединенные Штаты в рамках модернизации координатной основы планировали введение новой североамериканской земной системой отсчета (NATRF2022. NATRF2022 первоначально планировалось развернуть в 2022 году, однако Национальная геодезическая служба США недавно объявила о задержке примерно до 2024 или 2025 года [21].

Национальная система координат Канады - CSRS

На аналогичных принципах формируется национальная геоцентрическая (пространственная) система координат в Канаде Canadian Spatial Reference System (CSRS) [21].

Национальная система координат Австралии - GDA

Геоцентрическая система координат Австралии GDA (Geocentric Datum of Australia) - система координат, принятая Межправительственным комитетом по геодезии и картографии Австралии ICSM (Intergovernmental Committee on

Surveying and Mapping). GDA94 являлась статической системой координат на основе Международной земной системы координат ITRF 1992 года (ITRF92) на эпоху 1 января 1994 года. В это время GDA94 и ITRF совпадали с WGS84. Однако, с течением времени, реализации ITRF и WGS84 расходятся с GDA94, в первую очередь, вследствие тектонических движений Австралийской плиты (примерно 70 мм в год в направлении северо-северо-восток). К 2020 году разница составила примерно 1,8 метра. GDA2020 основана на реализации ITRF2014 в эпоху 2020.0, или 1 января 2020 года [21].

Национальная система координат Китая - CGCS

Основу китайской геодезической системы координат CGCS 2000 (China Geodetic Coordinate System 2000) составляет спутниковая геодезическая сеть трех уровней:

- сеть 28 постоянно действующих станций с точностью взаимного положения 3 мм;
- национальная контрольная GPS сеть (National GPS control network 2000 — GPS 2000), включающая 2 500 пунктов с точностью взаимного положения 3 см;
- астрономо-геодезическая сеть, включающая около 50 000 пунктов со средними расстояниями между ними около 22 км уравненная совместно с GPS 2000. На рис. 17. Представлена схема расположения постоянно действующих станций CGCS 2000 [21].

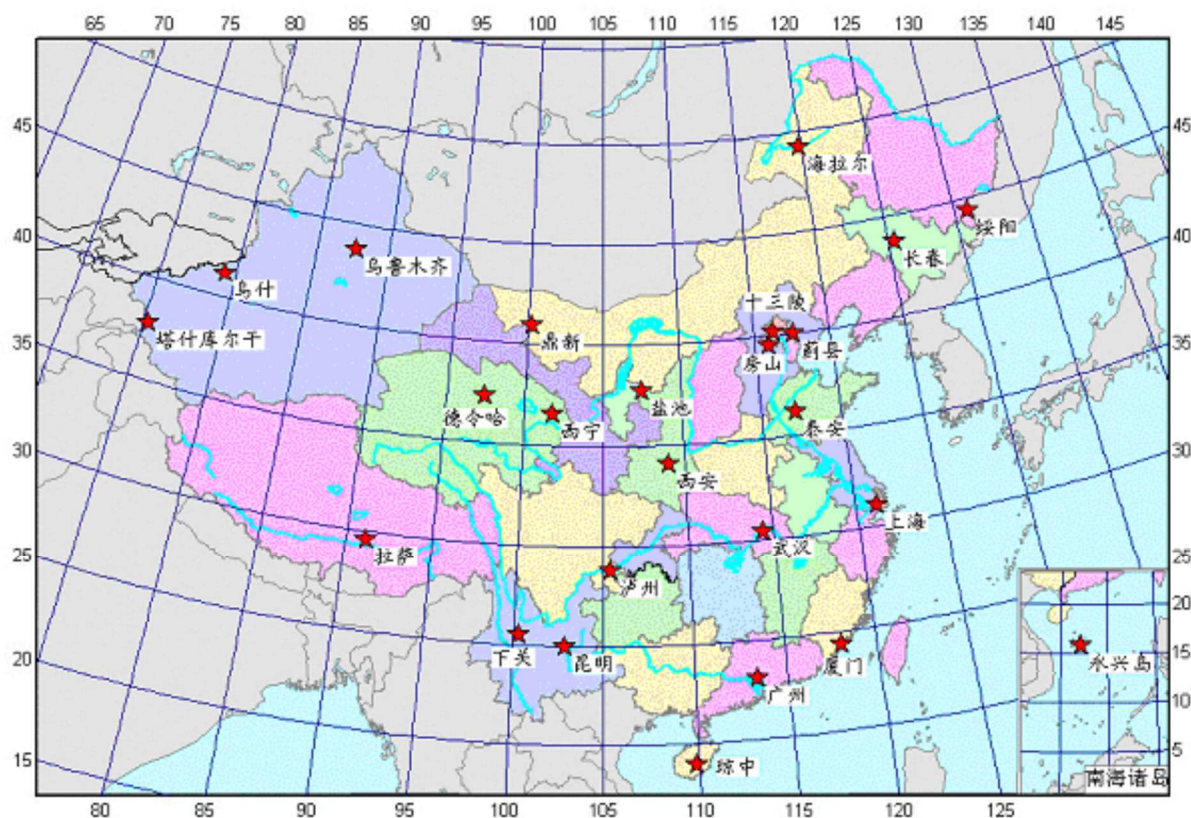


Рис. 17. Схема расположения постоянно действующих станций CGCS 2000

Национальная система координат России – ГСК-2011

Разработка и создание геодезической системы координат 2011 года (ГСК-2011) является логическим шагом в развитии геодезического обеспечения в России. История создания государственной геодезической спутниковой сети и государственной геодезической системы координат ГСК-2011 достаточно подробно рассмотрена в геодезической литературе [5, 21, 46, 67].

Государственная геодезическая система координат Российской Федерации ГСК-2011 представляет собой геоцентрическую систему координат. По принципам ориентировки в теле Земли ГСК-2011 идентична Международной земной опорной системе координат ITRS, установленной в соответствии с рекомендациями Международной службы вращения Земли и систем координат MCB3 (International Earth Rotation and Reference Systems Service, IERS).

Основу системы координат ГСК-2011 составила государственная спутниковая фундаментальная автотрономно-геодезическая сеть (ФАГС), использованная при выводе параметров этой системы. Общий состав пунктов, включенных в уравнивание ФАГС, характеризуется следующими данными:

- общее число пунктов, включенных в уравнивание 46, в том числе:
 - российских 38;
 - зарубежных 8;
- число опорных пунктов 21, в том числе:
 - российских 13;
 - зарубежных 8.

Исходные данные для уравнивания включали в себя:

- файлы суточных спутниковых наблюдений на пунктах ФАГС на интервале 2 лет (2010–2011 гг.);
- файлы координат спутников;
- файлы моделированных ионосферных задержек;
- файл сведений о сбоях в работе аппаратуры спутников GPS/ГЛОНАСС;
- параметры вращения Земли.

Обработка суточных сеансов измерений выполнена с помощью программного комплекса BERNESE 5.0. Использовалась традиционная схема вычислений по двойным разностям фазовых измерений, включающая следующие основные этапы вычислений:

1. численное интегрирование движений ИСЗ GPS/ГЛОНАСС для вычисления их координат на моменты наблюдений;
2. преобразование и предварительный контроль данных наблюдений;
3. преобразование исходных координат станций на эпоху сеанса наблюдений;
4. вычисление поправок часов приемников по кодовым измерениям;
5. образование одинарных разностей фазовых измерений, предварительный контроль и отбраковка грубых значений;
6. разрешение фазовых неоднозначностей (вычисления по отдельным базовым линиям);
7. совместное уравнивание всей сети, как «свободной»;

8. вычисление параметров трансформирования Гельмерта между вычисленными координатами опорных пунктов и их приведенными на эпоху наблюдений значениями;

9. контроль отклонений вычисленных координат опорных пунктов и в случае грубых результатов — исключение пункта из числа опорных и выполнение нового уравнивания сети;

10. преобразование всех вычисленных координат «свободной» сети с помощью найденных параметров Гельмерта и оценка точности.

Используемые на этапе 3 начальные значения координат пунктов выбирались из таблиц их значений на эпоху 2011.0 и скоростей смещений. Для пунктов IGS координаты выбирались из международного каталога, а для других пунктов использовались априорные значения координат и значения скоростей, вычисленные по геодинамической модели NUVELL.

Механизм привязки сети ФАГС к «каркасной» сети опорных пунктов IGS (этапы 8–10) основан на широко используемом IERS методе «мягкого согласования». Согласно этому методу, при уравнивании суточных сеансов измерений на первом этапе сеть рассматривается как «свободная», т.е. координаты опорных пунктов не фиксируются жестко, а вычисляются вместе с координатами других пунктов. На втором этапе осуществляется трансформирование (по Гельмерту) вычисленной «свободной» сети под условием минимума суммы квадратов отклонений полученных координат опорных пунктов от их принятых значений.

Средние квадратические погрешности уравненных координат пунктов ФАГС составили 0,1–1,0 см в плане (пункт ФАГС «Владивосток» - 1,9 см) и 0,2–1,5 см по высоте (пункт ФАГС «Владивосток» — 2,14 см) [68].

Геодезическая система координат ГСК-2011 была установлена в 2012 г. Постановлением Правительства Российской Федерации. После принятия в 2015 году нового Федерального закона «О геодезии, картографии и пространственных данных и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации» эта система координат была без изменений вновь установлена Постановлением Правительства Российской Федерации в 2016 г. [26].

Основные параметры системы координат ГСК-2011, ее физические и геометрические характеристики определены приказом Росреестра «Об утверждении геометрических и физических числовых геодезических параметров государственной геодезической системы координат 2011 года» [39].

Справочные материалы по ГСК-2011 и смежным вопросам представлены в последнем разделе научно-технического сборника «Астрономия, Геодезия и геофизика» [24]. При этом авторы, не вдаваясь в подробности привязки пунктов ФАГС к «каркасной» сети опорных пунктов IGS, утверждают, что пункты IGS использовались в качестве исходных.

По состоянию на 1 января 2015 года государственная геодезическая спутниковая сеть насчитывала 4 624 пункта. ФАГС состояла из 54 пунктов, из которых 45 постояннодействующие и 9 периодически определяемые. В состав пунктов ФАГС входили 13 пунктов РАН, 5 пунктов Росстандарта и 36 пунктов

Росреестра, 3 пункта совмещены с пунктами РСБД, 8 пунктов совмещены с пунктами Системы дифференциальной коррекции и мониторинга СДКМ Роскосмоса. ВГС состояла из 326 пунктов, а СГС-1 насчитывала 4 244 пункта.

По состоянию на 1.01.2019 государственная геодезическая спутниковая сеть Российской Федерации включала 67 пунктов ФАГС, 363 пункта ВГС и более 5 000 пунктов СГС-1.



Рис. 18. Схема расположения пунктов действующих и создаваемых пунктов ФАГС по состоянию на 1.01.2023 [108]

В таблице 11 представлено развитие пунктов ФАГС в Арктике.

Таблица 11

До 2021года	В 2021-2022 гг.
Баренцбург	Мыс Шмидта
Мурманск	Лаврентия
Ловозеро	Черский
Нарьян-Мар	Депутатский
Амдерма	Юрюнг-Хая
Салехард	Удачный
Диксон	Новый Уренгой
Тикси	Туруханск
Анадырь	Сабетта
Архангельск	Болушья Губа
Ноябрьск	Остров Хейса
Усть-Нера	Янискоски

	Несь
	Медвежьегорск
	Сургут

На рис. 19 приведен внешний вид пункта ФАГС «Баренцбург» на острове Шпицберген [107], а на рис. 20 - внешний вид пункта ФАГС «Остров Хейса» на архипелаге Земля Франца-Иосифа [108].



Рис. 19. Внешний вид пункта ФАГС «Баренцбург» на острове Шпицберген [107]

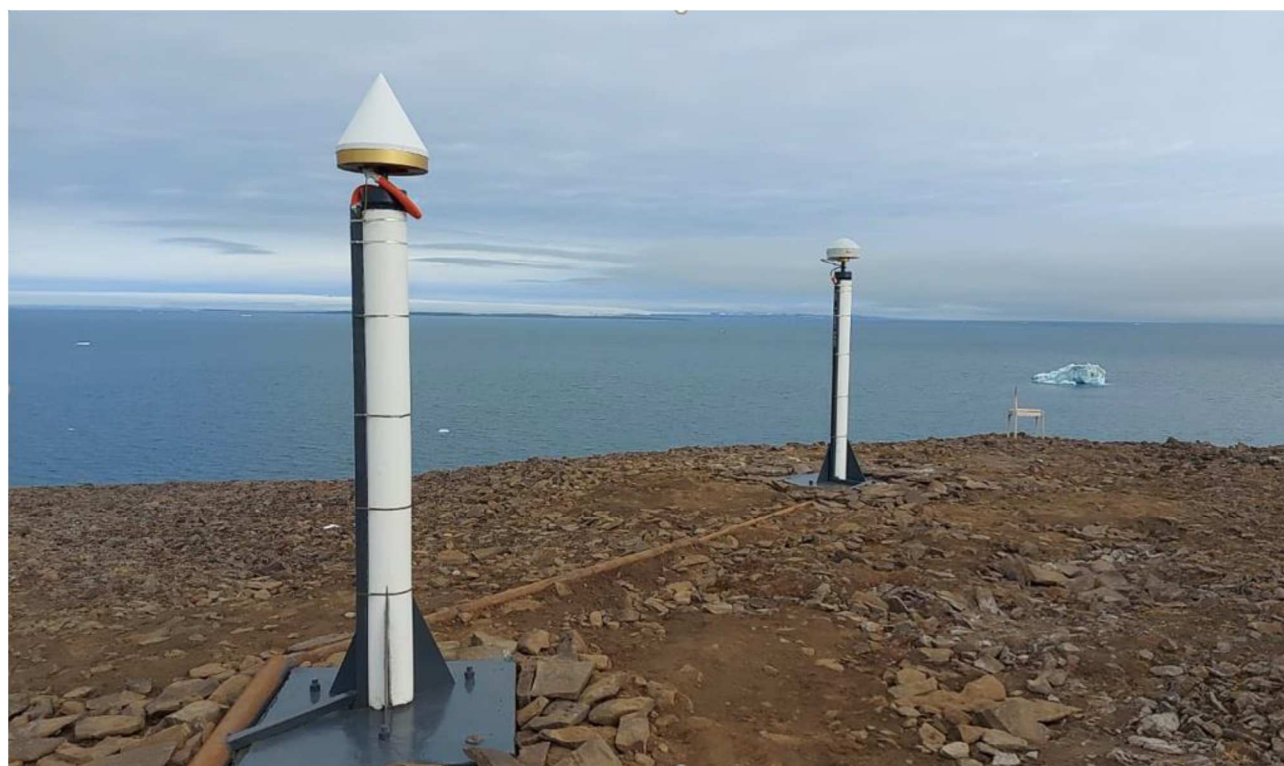


Рис. 20. Внешний вид пункта ФАГС «Остров Хейса» на архипелаге Земля Франца-Иосифа [108]

Сведения о месте нахождения пунктов ФАГС и их координаты в местных системах координат представлены на сайте ФГБУ «Центр геодезии, картографии и ИПД» в разделе «Центр точных эфемерид». Приведены описания и схемы местоположения пунктов ФАГС с указанием прямоугольных и геодезических координат и скоростей их изменения, тип спутниковых приемников и антенн, а также общая карта размещения пунктов ФАГС [32]. На рис. 21 приведен фрагмент карты.

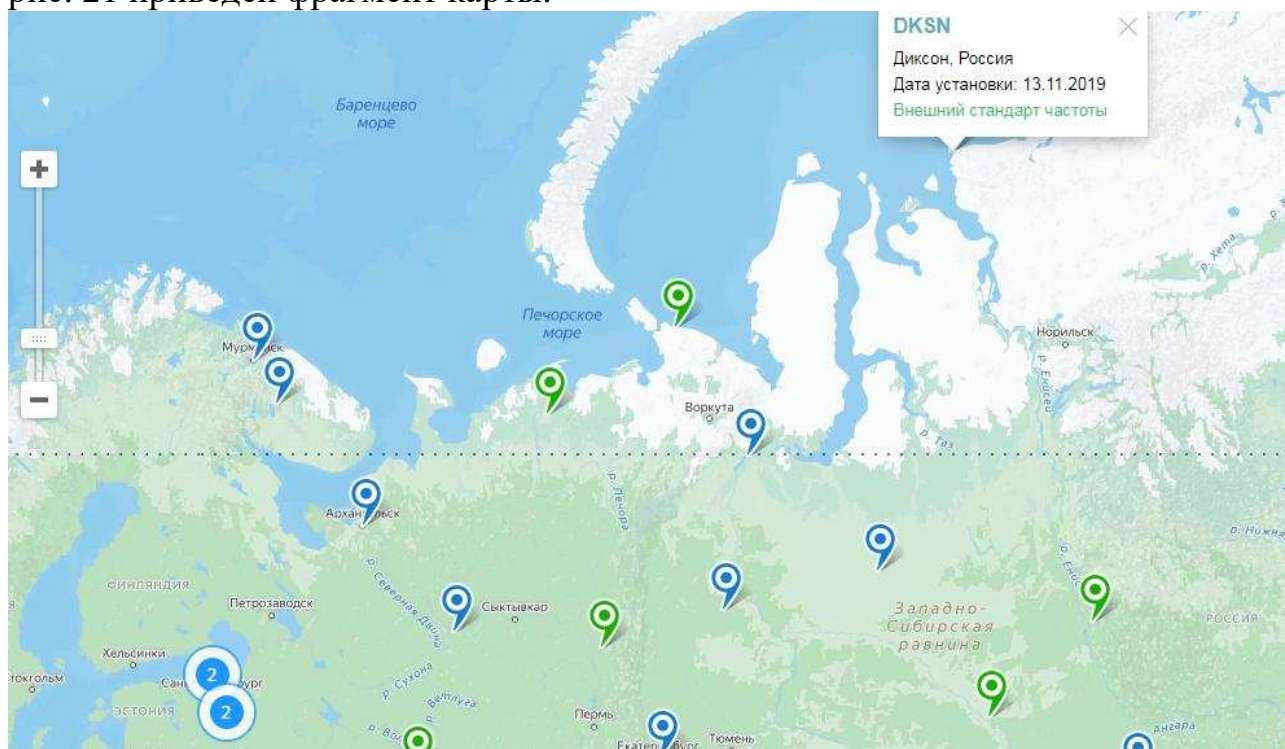


Рис. 21. Фрагмент карты размещения пунктов ФАГС [32]

Пункты являются стационарными астрономо-геодезическими обсерваториями, оборудованными комплексом прецизионной аппаратуры: стандартами частоты, метеорологическими датчиками, аппаратурой слежения за локальными деформациями земной поверхности в районе расположения обсерватории и стабильностью положения сооружения, на котором размещаются антенны, и т.д. Все пункты фундаментально закреплены с обеспечением долговременной стабильности их положения как в плане, так и по высоте. Технические требования к пунктам ФАГС определены национальным стандартом Российской Федерации ГОСТ Р 53374-2016 [ГОСТ Р 53374-2016].

Список координат и скоростей пунктов участвовавших в первичном построении системы координат ГСК-2011 на эпоху 1 января 2011 г. представлены на сайте ФГБУ «Центр геодезии, картографии и ИПД» в разделе «Государственная геоцентрическая система координат Российской Федерации ГСК-2011» [32].

Таким образом, большинство высокоразвитых стран, имеющих значительные территории, принимая активное участие в международных проектах и программах по созданию единой общеземной геоцентрической системы координат, одновременно создают национальные (государственные) системы координат, оптимальным образом ориентированные на сохранение и развитие геодезического и картографического потенциала, уже созданного к этому времени.

Геодезическое обеспечение потребителей в континентальных и национальных системах координат

Как уже было показано, одними из важных уровней системы геодезического обеспечения являются:

- распространение установленных систем координат, высот, гравиметрических измерений на заданную территорию;
- предоставление потребителям возможности определения местоположения в установленных системах координат, высот и гравиметрических измерений.

Классическим способом предоставления потребителям возможности определения местоположения является возможность привязки к пунктам геодезических, нивелирных и гравиметрических сетей и предоставление каталогов координат, высот и ускорений силы тяжести на этих пунктах. Пункты при этом должны быть расположены на удалении, обеспечивающем необходимую точность определения местоположения. Решение данной задачи обеспечивалось установлением плотности размещения пунктов на определенной территории.

Нормами плотности размещения пунктов государственных нивелирных, геодезических и гравиметрических сетей на территории Российской Федерации, принятыми в 2002 г. [66, 75], было регламентировано количество пунктов геодезических, нивелирных и гравиметрических сетей для трех типов территорий: поселения, иные территории и районы Крайнего Севера. Нормы плотности 2002 г. приведены в табл. 12.

Таблица 12

Территория	Количество пунктов на тыс. кв. километров				
	геодезических сетей всех классов	геодезических сетей сгущения	для спутниковых дифференциальных определений геодезических координат	нивелирных сетей	Гравиметрических сетей
Городские и сельские поселения, другие муниципальные образования	200	7800	20	250	-
Иные экономически освоенные территории, территории повышенного риска возникновения	33	77	1	50	0,2

чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера, а также приграничные территории					
Районы Крайнего Севера и приравненные к ним районы	20	10	0,1	10	0,2

Нормы плотности размещения на территории Российской Федерации геодезических пунктов государственной геодезической сети, нивелирных пунктов государственной нивелирной сети и гравиметрических пунктов государственной гравиметрической сети, принятые в 2016 г. [18], существенно снижены и установлены для Российской Федерации в целом, без выделения категорий освоенности территорий. Нормы плотности 2016 г. приведены в табл. 13.

Таблица 13

	Вид пунктов	Среднее значение плотности размещения пунктов на территории Российской Федерации
1.	Пункты государственной геодезической сети, в том числе:	
	пункты фундаментальной астрономо-геодезической сети	не менее 1 пункта на 330 тыс. кв. км при общем количестве не менее 50
	пункты высокоточной геодезической сети	не менее 1 пункта на 36 тыс. кв. км при общем количестве не менее 470
	пункты спутниковой геодезической сети 1-го класса, пункты сетей триангуляции, сетей полигонометрии, доплеровских геодезических сетей, астрономо-геодезической сети 1-го и 2-го классов, геодезических сетей сгущения 3-го и 4-го классов	не менее 100 000 пунктов*
2.	Пункты государственной нивелирной сети, в том числе:	
	пункты нивелирных сетей I, II классов (главная высотная основа Российской Федерации)	не менее 1 пункта на 0,1 тыс. кв. км при общем количестве не менее 170 000
	пункты нивелирных сетей III и IV классов	не менее 1 пункта на 0,034 тыс. кв. км при общем количестве не менее 500 000
3.	Пункты государственной гравиметрической сети	
	пункты фундаментальной гравиметрической сети, пункты гравиметрической сети 1-го класса	не менее 1 пункта на 24 тыс. кв. км при общем количестве не менее 710

* На территории Российской Федерации.

Одной из массовых технологий геодезического обеспечения потребителей для определения местоположения в настоящее время и в перспективе будет передача по сети Интернет измерительной и корректирующей информации с постоянно-действующих пунктов ФАГС и дифференциальных геодезических станций.

Нормами плотности размещения пунктов государственных нивелирных, геодезических и гравиметрических сетей на территории Российской Федерации, принятых в 2002 г. [66, 75], количество пунктов для спутниковых дифференциальных определений геодезических координат было регламентировано для трех типов территорий: поселения, иные территории и районы Крайнего Севера. Количество пунктов сетей дифференциальных геодезических станций, определенных в соответствии с нормами [66, 75] представлено в табл. 14.

Таблица 14

Территория	Площадь, тыс. кв. км	Норма плотности, пункт на тыс. кв. км	Количество пунктов
Городские и сельские поселения, другие муниципальные образования	170	20	3 400
Иные экономически освоенные территории, территории повышенного риска возникновения чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера, а также приграничные территории	5 711	1	5 711
Районы Крайнего Севера и приравненные к ним районы	11 244	0,1	1 124
Итого	17 125		10 235

По состоянию на 1.09.2022 на территории Российской Федерации эксплуатируются порядка 1 930 пунктов сетей дифференциальных геодезических станций, созданных федеральными органами исполнительной власти, субъектами Российской Федерации, различными коммерческими организациями, что составляет всего лишь 18,8 % от количества СДГС по требуемым нормам плотности 2002 г. [66, 75].

Нормами плотности размещения на территории Российской Федерации геодезических пунктов государственной геодезической сети, нивелирных пунктов государственной нивелирной сети и гравиметрических пунктов государственной гравиметрической сети, принятых в 2016 г. [18], количество пунктов сетей дифференциальных геодезических станций не установлено.

В соответствии с действующим законодательством сети дифференциальных геодезических станций для обеспечения геодезических работ вправе создавать физические и юридические лица, органы государственной власти и органы местного самоуправления. Кроме владельцев сетей дифференциальных геодезических станций услуги по предоставлению измерительной и корректирующей информации оказывают организации, не

являющиеся собственниками этих сетей [71]. Размещение дифференциальных геодезических станций и пунктов геодезических сетей специального назначения, отчеты о создании которых помещены в федеральный фонд пространственных данных, приведено на сайте ФГБУ «Центр геодезии, картографии и ИПД» в разделе «Геодезические сети специального назначения» [38]. Пример размещения дифференциальных геодезических станций в г. Санкт-Петербурге приведен на рис. 22.

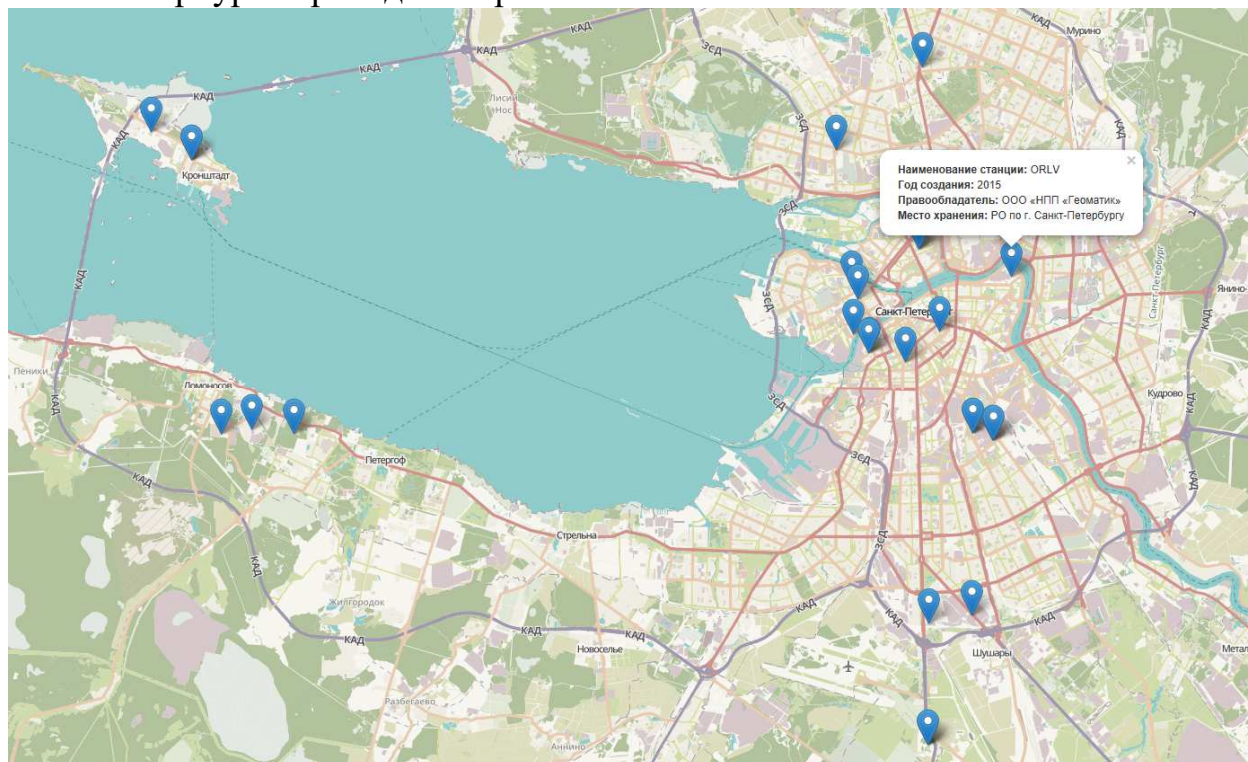


Рис. 22. Пример размещения дифференциальных геодезических станций в г. Санкт-Петербурге [38]