

Создание и развитие дифференциальных геодезических станций в горной местности

Х. З. Наджибулла^{1,2}, В. И. Обиденко¹

¹ Сибирский государственный университет геосистем и технологий, г. Новосибирск, Российская Федерация

² Кабульский политехнический университет, г. Кабул, Афганистан

* e-mail: ovi62@yandex.ru

Аннотация. Цель исследования – предоставить общую информацию о проектировании, создании и установке дифференциальных геодезических станций (ДГС) в горной местности (аппаратные компоненты и конфигурация ДГС, спецификации станций, особенности проектирования и создания сети ДГС). В работе перечислены основные вопросы, которые необходимо учитывать при создании, установке и развитии ДГС в горах – закрытие радиогоризонта, многопутность, изменение тропосферы при небольших расстояниях, локальная геодинамика, проблемы приема и передачи дифференциальных поправок. Внесены предложения по путям решения перечисленных вопросов. Отмечено, что в горных ущельях, каньонах, где затруднен прием радиосигналов от спутников ГНСС и обмен информацией между ГНСС-приемником ДГС и ровером, оптимально развитие пассивных геодезических сетей наземными методами (полигонометрия, трилатерация) с опорой на сети ДГС.

Ключевые слова: дифференциальная геодезическая станция, глобальная навигационная спутниковая система, геодезические сети, горная местность

Development of continuously operating reference stations in mountainous areas

H. Z. Najibullah^{1,2}, V. I. Obidenko^{1}*

¹ Siberian State University of Geosystems and Technologies, Novosibirsk, Russian Federation,

² Kabul Polytechnic University, Kabul, Afghanistan

*e-mail: ovi62@yandex.ru

Abstract. The purpose of the study is to provide general information on the design, creation and installation of continuously operating reference station (CORS) in mountainous areas (hardware components and CORS configuration, station specifications, design features and creation of a CORS network). The paper lists the main issues that must be taken into account when creating, installing and developing CORS in the mountains - the closure of the radio horizon, multipath, changes in the troposphere at short distances, local geodynamics, problems of receiving and transmitting differential corrections. It is noted that in mountain gorges, canyons, where it is difficult to receive radio signals from GNSS satellites and exchange information between the CORS GNSS receiver and the rover, it is optimal to develop passive geodetic networks using terrestrial methods (polygonometry, trilateration) based on CORS networks.

Keywords: continuously operating reference station, global navigation satellite system, geodetic networks, mountains

Введение

Дифференциальная геодезическая станция (ДГС) – электронное устройство, размещенное на точке земной поверхности с определенными координатами, выполняющее прием и обработку сигналов спутниковых навигационных систем и обеспечивающее передачу информации, необходимой для повышения точности определения координат в результате выполнения геодезических работ с использованием спутниковых навигационных систем [1]. Протообразом ДГС является временная референсная (базовая) станция, в качестве которой в относительном методе спутникового позиционирования используется станция с известными координатами и от которой определяются координаты определяемой станции (ровера). Превращение референсной (базовой) станции из временной в постоянно действующую, при этом не только в интересах создавшего ее собственника, а для удовлетворения потребностей многих пользователей на данной территории, многократно повышает выгоды такого ее использования и переводит на новый качественный уровень обеспечение пользователей геодезическими и навигационными услугами [2, 3].

Преимущества от использования сети ДГС заключаются в отсутствии необходимости иметь собственную базовую станцию, а также средства связи с ней при работе в RTK, в использовании единой системы координат, задаваемой сетью ДГС, в повышении точности измерений за счет привязки ровера сразу к нескольким ДГС [2, 4].

Развитие сетей дифференциальных геодезических станций в мире началось в 1994 году с проекта Национальной геодезической службы США (NGS) под названием CORS (Continuously Operating Reference Station) [2, 5, 6]. Успех данного проекта открыл дорогу для широкого распространения данной технологии геодезического обеспечения территорий.

В настоящее время технологии создания и использования ДГС применяются во всем мире. Сети ДГС в общем случае представляют собой результаты реализации проектов многоцелевого межведомственного сотрудничества, в котором участвуют сотни правительственных, академических и частных организаций. При этом станции находятся в независимом владении и управлении, однако участвующие в проекте организации делятся своими измерениями несущей ГНСС-фазы и кодовой дальности, а также метаданными с национальным геодезическим агентством (в каждой стране это соответствующая организация), которые анализируются и распространяются бесплатно [5, 7].

Специалисты и пользователи, собирающие ГНСС-данные, могут использовать данные ДГС для повышения точности своих координат. При соответствующей постобработке координаты ДГС совпадают в пределах нескольких сантиметров с координатами пунктов государственной геодезической сети (ГГС) как в плане, так и по высоте [8].

Несмотря на высокотехнологичные современные решения по созданию и развитию ДГС, организация их работы в горной местности имеет свою специфику, и актуально определить особенности проектирования, создания и развития ДГС в горах.

Создание сети дифференциальных геодезических станций – ДГС

Назначение сетей дифференциальных геодезических станций заключается в повышении качества геодезического обеспечения территорий в части создания на них постоянно действующего активного координатного пространства, доступ для участников геопространственной деятельности к которому обеспечивается непрерывно.

Оборудование каждой станции включает в себя, как минимум, ГНСС-приемник с антенной, источник бесперебойного электрического питания, средства связи. В большинстве случаев на ДГС дополнительно устанавливается компьютер для хранения, передачи данных и управления. В идеальных случаях, для надежности или «резервных» соображений оборудование включает в себя дублирующие компоненты критических элементов станции (электропитание, связь). Кроме того, для настройки и обслуживания сети требуется пользовательский интерфейс. Это может быть реализовано удаленно, например, по радиосвязи, с помощью мобильной связи, или через Интернет-соединение (рис. 1) [3, 9].



Рис. 1. Оборудование ДГС

Обязательным условием для дифференциальной геодезической станции является точное определение ее положения на местности в системе координат проекта, а также (при наличии требований в законодательстве соответствующей страны) – и в государственной системе координат. Для ДГС, создаваемых на территории Российской Федерации, определение координат в государственной системе координат в соответствии с [10] является обязательным.

Стандартная сеть ДГС состоит из четырех основных компонентов: система опорных станций, центр обработки данных, система передачи данных и пользовательские приложения, которые соединены в LAN через систему передачи данных (рис. 2) [7, 11].

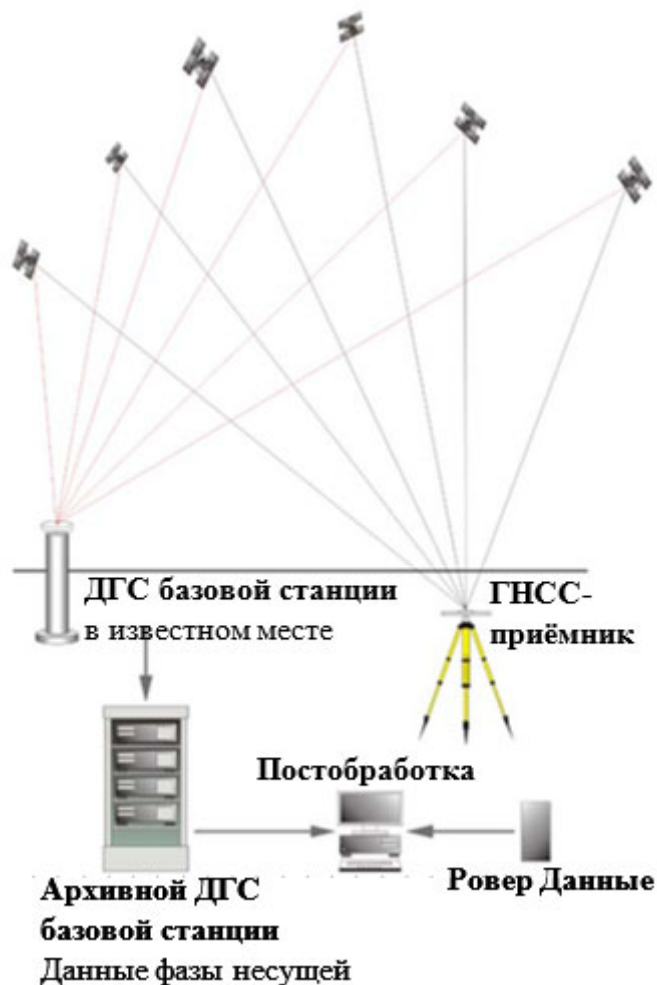


Рис. 2. Схема работы сети ДГС

Как правило, поставщик геодезических услуг, обеспечивающий возможность навигации и позиционирования в пространстве, владеет или управляет сетью ДГС, способной оценивать или разрешать «неоднозначности фазовых циклов» всех ДГС как одной однородной модели в режиме реального времени – «сетевое решение» в сети ДГС [12-14].

В зависимости от охвата территории и точности работ дифференциальные геодезические станции классифицируются на глобальные, региональные и локальные. При создании новой сети ДГС целесообразно определить, к какому классу она будет относиться [2, 12, 13].

Сети ДГС глобального уровня имеют наивысшую точность, достижимую современными средствами спутниковой геодезии, и охватывают большую часть территории земного шара. На таких станциях используются ГНСС-приемники геодезического класса высокой точности, принимающие сигналы всех доступных ГНСС-систем (ГЛОНАСС, GPS, Galileo, Compass [11, 15], а также антенны, защищающие от многопутности. Центры таких станций устанавливаются на основаниях, гарантированно обеспечивающих их высокую стабильность и долго-

временную сохранность. Для повышения точности моделирования атмосферы на таких станциях выполняются метеорологические наблюдения. Обработка данных и уравнивание таких сетей осуществляется исключительно с применением научного программного обеспечения (Bernese GNSS Software, GAMIT/GLOBK и т.д.), обеспечивающего точность вычисления координат уровне миллиметров.

Классическим примером сети ДГС глобального уровня является сеть Международной службы ГНСС (The International GNSS Service, IGS), состоящая из 512 станций, расположенных в 118 странах, принадлежащих 350 организациям [12], которая закрепляет на местности земную систему отсчета координат ITRS, являющуюся стандартом для всех областей геодезии и наук о Земле [2, 5].

Карта доступности данных, предоставляемых информационной системой проекта, в том числе данных о динамике земной коры (CDDIS) [16, 17], показана на рис. 3 [12]. Данные о координатах IGS-станций, а также скоростях их изменений на соответствующие эпохи (года уравнивания), а также сырые ГНСС-измерения и точные эфемериды спутников открыто доступны на сайте службы в режиме 365x24.

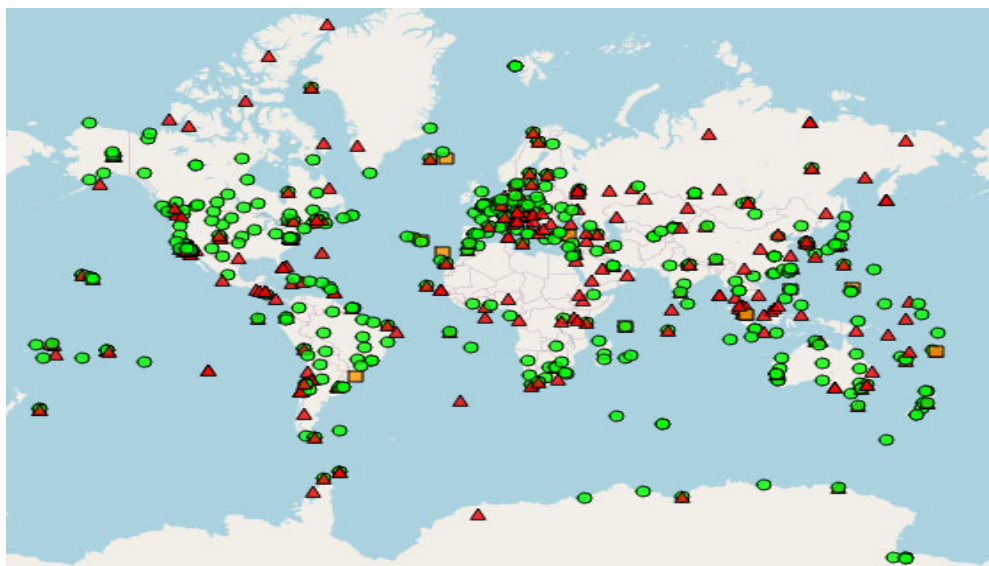


Рис. 3. Карта станций ГНСС, включенных в сеть IGS

Сети дифференциальных геодезических станций регионального уровня создаются на территориях, покрывающих отдельные субъекты (области/штаты/регионы) государства или их объединения, а также на территории государства (национальные ДГС) и имеют точность порядка нескольких сантиметров. На них используются ГНСС-приемники, принимающие сигналы не менее двух ГНСС-систем (обычно ГЛОНАСС, GPS), а также антенны, обычно имеющие защиту от многопутности. Центры станций устанавливаются на стабильных основаниях. Обработка данных и уравнивание региональных сетей ДГС обычно осуществляется в коммерческом программном обеспечении поставщиков ГНСС-приемников (Leica, Trimble и т.д.).

Доступ к данным региональных дифференциальных геодезических станций предоставляется (в зависимости от инициаторов и целей их создания) на свободной или коммерческой основе. Примером региональной ДГС является уже упомянутая ранее национальная сеть ДГС США – CORS.

Локальные сети дифференциальных геодезических станций являются в иерархической структуре ДГС геодезическим построением низшего класса точности и надежности, создаваемые отдельными коммерческими структурами и государственными организациями на локальной территории и используемые в интересах этих организаций. Данные с этих ДГС преимущественно закрыты для сторонних пользователей или предоставляются им на коммерческой основе.

На таких станциях используются ГНСС-приемники геодезического класса точности, обычно принимающие сигналы двух ГНСС-систем с антеннами без защиты от многопутности. Центры станций устанавливаются на основаниях, которые должны обеспечить их стабильность, однако на практике это не всегда так. Часто такие станции, как отмечается, например, в [18] закладываются в местах удобных (с точки зрения наличия инфраструктуры, доступности) для использования, без определения приоритета требования к обеспечению стабильности центра: на крышах и прикрепленными к стенам зданий, сооружений, что не исключает влияния движений и деформаций этих сооружений на координаты центров станций.

Обработка данных и уравнивание локальных сетей ДГС осуществляется в коммерческом программном обеспечении. Локальные сети ДГС закрепляют на местности местные системы координат, используемые их собственниками, и в обязательном порядке имеют связь с государственной системой координат [5, 8, 9]. Примером локальной сети ДГС может служить сеть активных, постоянно действующих базовых ГНСС-станций, созданных на территории Новосибирской области [19].

Существующие в настоящее время в Российской Федерации сети ДГС, общее количество станций в которых оценивается в величину свыше 1 тыс. [18] (при этом отчет о создании сетей сданы в ФФПД только в отношении 827 станций [20]), можно отнести к локальным сетям дифференциальных геодезических станций.

При этом Научно-техническим центром геодезии, картографии и инфраструктуры пространственных данных Росреестра (НТЦ ГКиИПД) в 2021 году инициирован масштабный проект по объединению этих локальных ДГС в единую Федеральную сеть геодезических станций (ФСГС) с опорой на пункты ФАГС. В результате реализации данного проекта в РФ будет создана сеть ДГС, которая по своему статусу и точности будет являться региональной и сопоставимой с другими аналогичными мировыми ДГС (например, CORS). За счет покрытия большей части территории страны, высокой точности и непрерывности наблюдений, ФСГС станет новым инновационным инструментом геодезического обеспечения территории РФ, в том числе источником информации для построения геодинамической модели движения земной коры на территории Рос-

сии, необходимой для дальнейшего развития и повышения точности национальной системы координат ГСК-2011 [21].

Особенности создания ДГС в горной местности

Создание сети дифференциальных геодезических станций, эффективно работающих в интересах геодезического обеспечения инициаторов ее создания на данной территории, требует тщательного проектирования сети, выбора мест установки ДГС, создания необходимой инфраструктуры для качественного функционирования станций.

Однако представляет особый интерес и обосновывает необходимость проведения исследований вопрос о специфике создания и развития геодезической сети, в том числе аспекты создания дифференциальных геодезических станций в горной местности. При этом под горной местностью подразумевается: горный район, расположенный в Азии, имеющий неровную топографическую поверхность; категории земель относятся к пастбищам, где имеется большое количество горных рек; многочисленные склоны покрывают редкие леса; климат характеризуется жарким засушливым летом и холодной влажной или снежной зимой. Высоты над уровнем моря в пределах региона исследования составляют от 2 000 до 7 700 м.

Очевидно, что многие из аспектов развития геодезической сети и установки ДГС в условиях горной местности должны быть рассмотрены и, при необходимости, пересмотрены с целью обеспечения эффективного ее функционирования в условиях горной местности.

Проектирование и создание ДГС в горах позволяет в большинстве случаев выбрать места установки станции с наличием скального основания для закладки центра. Такое решение является наиболее оптимальным с точки зрения обеспечения стабильности центра станции и в этом смысле горная местность предоставляет благоприятные условия для установки большинства ДГС наиболее качественным образом, с закреплением их центров на скальном основании.

Одним из главных критериев качественной установки ДГС является обеспечение беспрепятственного доступа ГНСС-сигналов от спутника до антенны ГНСС-станции, которое в равнинной местности осуществляется выбором месторасположения станции, где имеется широкий обзор неба [22, 23]. Указанный ранее горный район, с большими величинами перепадов высот на небольшом расстоянии, делает практически невозможным выбор мест для установки всех проектируемых ДГС с идеальным, полностью открытым радиогоризонтом. Очевидно, что в этом случае потребуется осуществить многократные итерации по подбору оптимальных мест расположения ДГС. На каждой из них следует предварительно рассчитать закрытость горизонта (можно использовать цифровую модель рельефа) и влияние имеющихся препятствий на доступность спутников, в том числе, определить минимальную «маску высоты» [22, 23], выше которой все спутники над горизонтом будут доступны для наблюдения на данной станции.

Еще большей проблемой по сравнению с базовыми станциями вопрос открытости неба в горном районе будет являться для роверов. В тех зонах действия ДГС, где открытость неба для ровера будет снижена, очевидно, потребуется компенсация снижения количества видимых над горизонтом (в данном случае из-за вершин соседних гор) спутников в виде увеличения времени наблюдения. Кроме того, в горах, с целью увеличения количества видимых на небосводе спутников в условиях ограниченного его обзора, целесообразно использовать ГНСС-приемники, принимающие сигналы всех действующих ГНСС-систем (ГЛОНАСС, GPS, Galileo, Compass).

Более детальные рекомендации и оценки требуемого времени наблюдения ровером в условиях ограниченного обзора неба, с учетом планируемых к применению ГНСС-приемников, принимающих то или иное количество ГНСС-систем, могут быть выработаны исходя из конкретного проекта развития сети ДГС и точного его расположения на территории указанного горного района,

Одним из существенных факторов, влияющих на точность ГНСС-измерений, является многопутность. Условия для возникновения явления многопутности в горной местности существенно выше, чем на равнине, так как она может вызываться отражением от соседних вершин, особенно если их склоны представляют из себя ровную поверхность, покрытую снегом (настом), снежником, или ледником [22, 23]. Известно, что сигналы, искаженные многопутностью, всегда задерживаются по сравнению с прямыми сигналами из-за более длинного пути следования, вызванного отражением. Поскольку геометрия между спутниками ГНСС и неизменным положением приемника на ДГС повторяется каждые звездные сутки, многопутность оказывается одной и той же в последующие дни. Это повторение может быть полезным для того, чтобы убедиться в присутствии многопутности, анализируя наблюдения различных дней [22, 23]. Для минимизации данного явления целесообразно определять индивидуальные поправки за многопутность по непрерывным наблюдениям на отдельных ДГС.

Развитие сети ДГС высоко класса точности (глобальных, региональных) часто сопряжено с необходимостью определять и учитывать метеопараметры с целью более точного учета задержек ГНСС-сигнала в атмосфере. Очевидно, что в горном районе метеоусловия будут существенно меняться при переходе от одной дифференциальной геодезической станции к другой, даже расположенных на небольшом расстоянии, но на существенно разных высотах. Стандартные модели тропосферы, успешно применяемые на равнинах, не могут быть с той же эффективностью использованы в горной местности, поскольку они не будут учитывать локальные аномалии метеопараметров между соседними ДГС или группами ДГС. В этой связи развитие ДГС в горной местности должно включать в себя обязательное определение метеопараметров и их учет путем построения локальной модели тропосферы.

При создании ДГС в горах, следует допускать возможность существования местных геодинимических явлений, локальных горизонтальных и вертикальных движений земной коры, не нашедших отражения в глобальной геодинимической модели движения литосферных плит, учитываемой, например, в IGS. В этой

связи целесообразно интерпретировать временные ряды наблюдений на ДГС, включая в них «глобальную» кинематическую составляющую и оценивая наличие систематических отклонений (движений) ДГС, вызванных локальными геодинамическими явлениями.

При развитии сети ДГС в горном районе, указанном в работе, проблемой могут быть вопросы, которые на равнинной местности не вызывают никаких затруднений. Так, например, для работы в режиме RTK в горах передача поправок от ДГС к роверу по радиоканалу может быть затруднена или невозможна, при этом сотовая сеть как инструмент коммуникации между базой и ровером, которую можно было бы использовать в этих же целях, в данном районе может быть также не развита или работать неполноценно. В этой связи целесообразно рассмотреть возможность увеличения количества (плотности) ДГС на данной территории. При увеличении плотности ДГС (а значит и уменьшении расстояния от ровера до ДГС) могут быть также решены одновременно и проблема частично закрытого неба для ровера (уменьшение базового вектора потребует меньшего времени наблюдений) и проблема связи ровера с базой для передачи поправок (при меньшем расстоянии между ровером и ДГС связь (особенно радиосвязь) будет более возможна).

Однако стратегия увеличения плотности ДГС в горном районе не может решить полностью проблему создания геодезической основы территории, так как всегда останутся узкие ущелья и каньоны, где из-за закрытости неба не могут полноценно работать ни ДГС, ни роверы. В этой связи, исходя из конкретных условий местности и топографии горного района, следует выделить территории, не являющихся зоной действия проектируемой сети ДГС. Исходя из размеров таких территорий следует рассмотреть целесообразность создания на них пассивных геодезических сетей, координаты которых могут быть определены наземными методами (трилатерация, полигонометрия) с опорой на ДГС с использованием современных приборов (тахеометров). Такая сеть должна быть создана прежде всего в районах, требующих или предполагающих предстоящее хозяйственной освоение. Класс такой сети, а также точность определения координат ее пунктов должна быть определена исходя из общей концепции построения государственной геодезической сети страны.

Заключение

Доступ субъектов геопространственной деятельности к государственной системе координат (ГСК) осуществляется через государственную геодезическую сеть (ГГС), геодезические сети специального назначения, создаваемые в настоящее время преимущественно в виде дифференциальных геодезических станций [24], а также непосредственно через спутники глобальных навигационных спутниковых систем (ГНСС).

Позиционирование непосредственно через спутники ГНСС (абсолютный метод) применимо лишь для сфер деятельности, не требующих высокой точности, а в варианте Precise Point Positioning (PPP) – для приложений, не требующих работы в режиме RTK.

Привязка к ГСК через ГГС, являющуюся пассивным носителем этой системы координат, является наиболее стандартным способом определения координат на территориях, где еще не развита или по некоторым причинам не может быть создана активная сеть дифференциальных геодезических станций. Одним из специфических типов территорий, где не только могут использоваться пассивные геодезические сети, ранее созданные наземными геодезическими методами, но и в силу невозможности развития на них ДГС могут и в настоящее время создаваться такие сети, являются горные районы. Очевидно, что при этом для наземных измерений будут использоваться современные оптико-электронные приборы – тахеометры, обеспечивающие необходимый уровень точности измерений, а ареал создания таких сетей будет ограничен территориями, где, в силу ограниченного обзора неба для выполнения ГНСС-измерений создание ДГС невозможно.

Геодезическое обеспечение территорий путем создания на них сетей активных, постоянно действующих дифференциальных геодезических станций, является наиболее современным и эффективным способом обеспечения доступа потребителей к государственной системе координат. Однако развитие таких сетей в горных районах, например, на территории реально существующего в Азии государства, морфометрические характеристики которого приведены в работе (высоты от 2 000 до 7 000 м), сопряжено с рядом трудностей и научных проблем, требующих своего решения.

В работе обозначены некоторые особенности развития геодезических сетей, в том числе специальных геодезических сетей в виде дифференциальных геодезических станций, на территории таких горных районов и контурно обозначены пути их решений. Более детальные рекомендации по методологии решения некоторых из них могут быть предложены на основе конкретных исследований, проведенных в проекте по созданию геодезической сети в горном районе путем создания ДГС.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Федеральный закон от 30.12.2015 № 431-ФЗ «О геодезии, картографии и пространственных данных и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации».
2. Nikolaos K., George P., and Evangelia L., Distance Limitations when using CORS Networks and GNSS Receivers for Deformation Monitoring, 4th Joint International Symposium on Deformation Monitoring (JISDM- Athens), 15-17 May 2019, P. 2–5.
3. Volker Schwieger, GNSS CORS Infrastructure and General Principles, 6th FIG Regional Conference, TS 2 – GNSS CORS Fundamentals, Denmark, 2007, P. 1-4.
4. Krishna P. Bhandari, Potential Use of GNSS Application in Mountainous Country Nepal, UN/ICTP Workshop on the Use of GNSS, Italy, 2014, P. 1–16.
5. Ali I. Naibbi, Samir S. I., An Assessment of the Existing CORS in Nigeria: An Exploration Using GIS, American Journal of Geographic Information System, UK and Nigeria, 2014, DOI: 10.5923/j.ajgis.20140304.01, 3(4): 147-157, P. 147–149.
6. Nwilo P.C., Ayodele E.G., OkolieC.J., Orji M.J., MarveM.F., Oyelade E. A. and Daramola O. E., an Assessment of seasonal Variations in the CREF CORS at the University of LAGOS, GLL-Geomatics, Landmanagement and Landscape, 2020, DOI: 10.15576/GLLNo.1.63, P. 63–77.

7. Pham C. K., Nguyen Q. L., Accuracy assessment of the single CORS technology for establishing the large-scale cadastral map, *International Journal of Scientific & Engineering Research*, India and France, 2019, Volume 10, Issue 5, ISSN 2229-5518, P. 1–11.
8. Кочетова Э. Ф., *Геодезия (Учебное пособие)*, Кафедра Геодезия и землеустройство, НГСХА, Russian Federation, 2019, С. 24–44.
9. Schwieger V., Lilje M. and Sarib R., *GNSS CORS - Reference Frames and Services*, 7th FIG Regional Conference, TS4B - GNSS CORS Infrastructure and Standards, Hanoi, Vietnam, 2015, P. 3–19.
10. Приказ Министерства экономического развития Российской Федерации от 29 марта 2017 года N 139.
11. Dilbarkhon, Fazilova. The review and development of a modern GNSS network and datum in Uzbekistan, *KeAi- Advancing Research Evolving Science*, 2017, P. 187–192.
12. IGS (International GNSS Service), [website]. [2021]. URL: <https://igs.org/network>.
13. FIG (International Federation of Surveyors), [website]. [2020]. URL: <https://www.fig.net>.
14. Журнал «Геодезия и картография», [2021]. URL: <https://geocartography.ru>.
15. CORS Map, [website]. [2021]. URL: https://geodesy.noaa.gov/CORS_Map.
16. Guangwei J., Panlong W., Bin W., Chuanlu C., a Novel Rapid GNSS Network Solution in Mountainous Region Monitoring considering the Tropospheric Delay at Ground Points, *Hindawi-Journal of Sensors*, China. Article ID 5599025, 2021, P. 6–12.
17. Samin Nasr, CORS stations and its features, *RAYMAND-GNSS Solutions*, Iran, 2021, P. 6–11.
18. Вдовин В. С., Дворкин В. В., Карпик А. П., Липатников Л. А., Сорокин С. Д., Стеблов Г. М. Проблемы и перспективы развития активных спутниковых геодезических сетей в России и их интеграция в ITRF // *Вестник СГУГиТ*. – 2018. – № 23 (1). – С. 6–27.
19. Карпик А. П., Антонович К.М., Сурнин Ю.В., Ванин С.А., Клепиков А.Н., Гиенко Е.Г., Фролова Е.К. Проект сети активных станций для Новосибирской области // *Гео-Сибирь*. 2007. Т. 1. № 1. С. 68–74.
20. Сайт Росреестра: <https://cgkipd.ru/opendata/GSSN/>
21. Обиденко В. И. Методология геодезического обеспечения цифровой экономики Российской Федерации // *Геодезия и картография*. – 2019. – Т. 80. – № 12. – С. 42–55.
22. Антонович К.М. Использование спутниковых радионавигационных систем в геодезии (том 1). – М.: Картгеоцентр. – 2005. – 334 с.
23. Антонович К.М. Использование спутниковых радионавигационных систем в геодезии (том 2). – М.: Картгеоцентр. – 2006. – 360 с.
24. Карпик А. П., Обиденко В. И., Косарев Н.С., Шендрик Н. К., Исследование однородности координатной основы ГСК-2011 при построении геодезической сети специального назначения // *Геодезия и картография*. – 2021. – № 10. – С. 2–12.

© Х. З. Наджибулла, В. И. Обиденко, 2022