

Д. В. Крылов¹✉

Сравнительный анализ сетей дифференциальных геодезических базовых станций в России и за рубежом: проблемы развития и перспективы

¹Сибирский государственный университет геосистем и технологий,
г. Новосибирск, Российская Федерация
e-mail: ekzootic@gmail.com

Аннотация. В статье представлен сравнительный анализ сетей дифференциальных геодезических станций (СДГС), функционирующих в Российской Федерации и ряде зарубежных стран (США, Канада, Германия, Австралия). Также дана характеристика и оценка текущего состояния соответствующей системы в РФ. Рассмотрены такие параметры, как плотность и равномерность покрытия, открытость и доступность данных, стандартизация, степень интеграции с геоинформационными системами, а также участие в международных инициативах. Проведен анализ ключевых барьеров и проблем, сдерживающих развитие отечественной системы СДГС. На основе зарубежного опыта предложены рекомендации по созданию/усовершенствованию в России единой координируемой и стандартизированной сети дифференциальных геодезических станций, которые смогут обеспечить открытый доступ к данным, и, что немаловажно, интеграцию с глобальными геодезическими сетями. Результаты исследования могут быть полезны при реализации государственной стратегии модернизации пространственно-временной инфраструктуры СДГС в России.

Ключевые слова: ГНСС, сеть дифференциальных геодезических станций, спутниковая система точного позиционирования, геоинформационные системы, пространственно-временная инфраструктура, стандартизация геодезических данных

D. V. Krylov¹✉

Comparative Analysis of Differential Geodetic Base Station Networks in Russia and Abroad: Development Challenges and Prospects

¹Siberian State University of Geosystems and Technologies, Novosibirsk, Russian Federation
e-mail: ekzootic@gmail.com

Abstract. This article presents a comparative analysis of differential geodetic base station networks (DGBS) operating in the Russian Federation and several foreign countries (USA, Canada, Germany, and Australia). It also provides an overview and assessment of the current state of the relevant infrastructure in Russia. Key parameters such as station density and spatial coverage, openness and availability of data, standardization, degree of integration with geographic information systems (GIS), and participation in international initiatives are considered. The article analyzes major barriers and issues hindering the development of the domestic DGBS network. Based on international experience, recommendations are proposed for the establishment or improvement of a unified, coordinated, and standardized network of differential geodetic base stations in Russia, which would ensure open data access and, importantly, integration with global coordinate systems. The results of the study may be useful for the implementation of the national strategy for modernizing Russia's spatio-temporal infrastructure.

Keywords: GNSS, differential geodetic base station network, satellite-based precise positioning system, geographic information systems, spatio-temporal infrastructure, geodetic data standardization

Введение

В наши дни без применения глобальных навигационных спутниковых систем (ГНСС) и сетей дифференциальных геодезических станций (СДГС) невозможно развитие и функционирование высокоточной геодезии, навигации, градостроительства, кадастра и мониторинга территории. Обеспечивая привязку данных к точной системе координат в режиме реального времени, данные сети формируют основу пространственно-временной инфраструктуры государства. Одной из главных целей является объединение таких станций в региональные и национальные системы, интегрируя их в геоинформационные системы различного уровня.

Во многих странах уже действуют устойчивые и открытые СДГС, которые интегрированы в национальные и международные координатные системы, активно используются в геоинформационных платформах и поддерживаются государственными геодезическими службами. Примеры таких систем – NOAA CORS (США), SAPOS (Германия), AUSCORS (Австралия), CACS (Канада). Они характеризуются высоким уровнем стандартизации, плотным территориальным покрытием, открытым доступом к данным и международным взаимодействием.

В России же долгое время отсутствовала единая координируемая СДГС, несмотря на наличие как фундаментальных, так и частных решений. Только в последние годы формируется Федеральная сеть геодезических станций (ФСГС), направленная на консолидацию существующих ресурсов и создание современной отечественной координатной инфраструктуры.

Цель данной статьи – провести сравнительный анализ отечественной и зарубежных систем СДГС, выявить ключевые отличия и проблемы, а также наметить возможные направления развития российской сети с учётом мирового опыта.

Основным методом исследования является сравнительный анализ открытых источников, а именно официальных данных национальных геодезических служб, научных публикаций, аналитических докладов, технической документации и специализированных веб-ресурсов.

Обзор зарубежной практики

Прежде всего стоит упомянуть Международную службу IGS [1] (International GNSS Service) как пример слаженной межнациональной научной работы. Более двухсот организаций по всему миру работают над поддержанием корректной работы сети, используя сотни постоянно действующих ГНСС-станций. Станции сети обеспечивают высококачественные данные для точного позиционирования, научных исследований, геодинамики и согласования глобальных координатных систем. Служба IGS, предоставляя данные для постобработки и корректирующую информацию в режиме реального времени, влияет на формирование Международной земной координатной основы (ITRF). Таким об-

разом благодаря кооперации различных агентств по всему миру IGS повышает совместимости национальных координатных систем с международными стандартами и укрепляет международное научное сотрудничество.

Одной из самых масштабных и технологически развитых систем дифференциальных геодезических станций в мире является Сеть непрерывно действующих опорных станций (Continuously Operating Reference Stations, CORS [2]), управляемая Национальной геодезической службой США (National Geodetic Survey, NGS) в составе Национального управления океанических и атмосферных исследований (National Oceanic and Atmospheric Administration, NOAA), далее NOAA CORS. Количество станций, размещенных по всей стране, насчитывает около 2 800 штук. Основным форматом предоставляемых данных являются данные для высокоточной постобработки. Поправки в реальном времени реализованы у каждого провайдера отдельно и не включены в перечень предоставляемых данных NOAA CORS. Также сеть имеет станции, интегрированные с IGS и активно используется в геодезии, мониторинге деформации, проектировании, научных исследованиях благодаря строгим требованиям к оборудованию, единым стандартам и открытости [3].

Канадская активная контрольная сеть (Canadian Active Control System, CACS [4]), управляемая Отделом геодезических изысканий (Geodetic Survey Division, GSD), охватывает как густонаселенный юг, так и отдаленные арктические территории, приоритет дан заселенным районам, поэтому система не покрывает территорию страны на сто процентов. Сеть поддерживает работу с GPS, ГЛОНАСС, Galileo и BeiDou, а также ориентируется преимущественно на предоставление данных постобработки. CACS является важной частью национальной геодезической инфраструктуры Канады, так как станции сети, также, как и в случае с США, интегрированы с IGS и обеспечивают высокую точность координат в рамках Канадской пространственной системы координат (Canadian Spatial Reference System, CSRS).

Служба спутникового позиционирования Немецкой национальной геодезической службы (Satellitenpositionierungsdienst der deutschen Landesvermessung, SAPOS [5]), функционирующая под руководством Федерального агентства по картографии и геодезии (Bundesamt für Kartographie und Geodäsie, BKG) на уровне федеральных земель, включает более 270 станций и полностью покрывает территорию Германии. Служба предоставляет доступ к сервисам как для постобработки, так и для получения поправок в реальном времени. Также можно отметить, что SAPOS интегрирован в европейскую координатную основу (European Terrestrial Reference System 1989, ETRS89) и европейскую постоянно действующую ГНСС сеть (European reference permanent GNSS network, EPN [6]), а также тесно связан с кадастровыми и топографическими базами через геоинформационную инфраструктуру AAA (AFIS – база данных пунктов государственной геодезической сети; ALKIS – кадастровая информационная система; ATKIS – топографическая информационная система). Благодаря стандартизации и открытости, система показывает высокий уровень согласованности и устойчивости.

Австралийские постоянно действующие референчные станции (Australian Continuously Operating Reference Stations, AUSCORS [7]), управляемые агентством Геонауки Австралии (The Geoscience Australia, GA), охватывают все регионы страны, включая удалённые и малообжитые территории. Станции сети передают данные в формате RINEX и поддерживают NTRIP-доступ для RTK. Сеть интегрирована с IGS и ориентирована на обеспечение высокой точности координат, что делает её важным элементом геодезических, картографических и научных задач. AUSCORS оснащена открытым доступом к данным, поддержкой многосистемных приёмников и имеет высокую степень надёжности.

Инфраструктура СДГС в России: состояние, ключевые проблемы и барьеры развития

В последние десятилетия развитие высокоточной геодезии в России опиралось на несколько параллельно существовавших инфраструктурных решений, каждое из которых решало ограниченный круг задач. Центральное место в поддержании государственной системы координат занимала Фундаментальная астрономо-геодезическая сеть (ФАГС) [8]. Однако её низкая плотность, научная направленность и ограниченная прикладная применимость сделали её малоприменимой для массового прикладного применения.

В августе 2023 года в Федеральный закон «О геодезии, картографии и пространственных данных» были внесены поправки (№ 491-ФЗ от 4 августа 2023 года) [9], уточняющие ключевые элементы нормативной и инфраструктурной базы пространственных данных. В частности, статья 9.1 закрепляет положения о создании Федеральной сети геодезических станций и её информационного обеспечения, а статья 9.2 устанавливает требования к использованию исключительно российских геоинформационных технологий, систем и средств в деятельности государственных и муниципальных органов, а также юридических лиц, участвующих в предоставлении государственных и муниципальных услуг. Эти нормы закрепляют обязательность соответствия используемых решений установленным требованиям и направлены на обеспечение технологического суверенитета в сфере пространственных данных. Ответственным за развитие и эксплуатацию Национальной системы пространственных данных определена публично-правовая компания «Роскадастр».

Эти шаги ознаменовали собой переход к формированию Федеральной сети геодезических станций (ФСГС) [10]. Данная сеть представляет собой цифровую платформу, объединяющую государственные, ведомственные и коммерческие станции, обеспечивающие приём спутниковых сигналов в режиме реального времени (RTK) и в формате постобработки (RINEX). По состоянию на 2025 год в систему включено более 2900 станций, из которых свыше 1500 имеют статус поверенных и постоянно активных. Включение станции в сеть возможно при условии соответствия минимальным техническим и метрологическим требованиям, в том числе прохождения поверки, наличие FTP сервера собирающего данные наблюдений и возможность передачи файлов наблюдений ФСГС для дальнейшей обработки.

На рисунке 1 представлена карта покрытия территории РФ сетью проекта ФСГС.

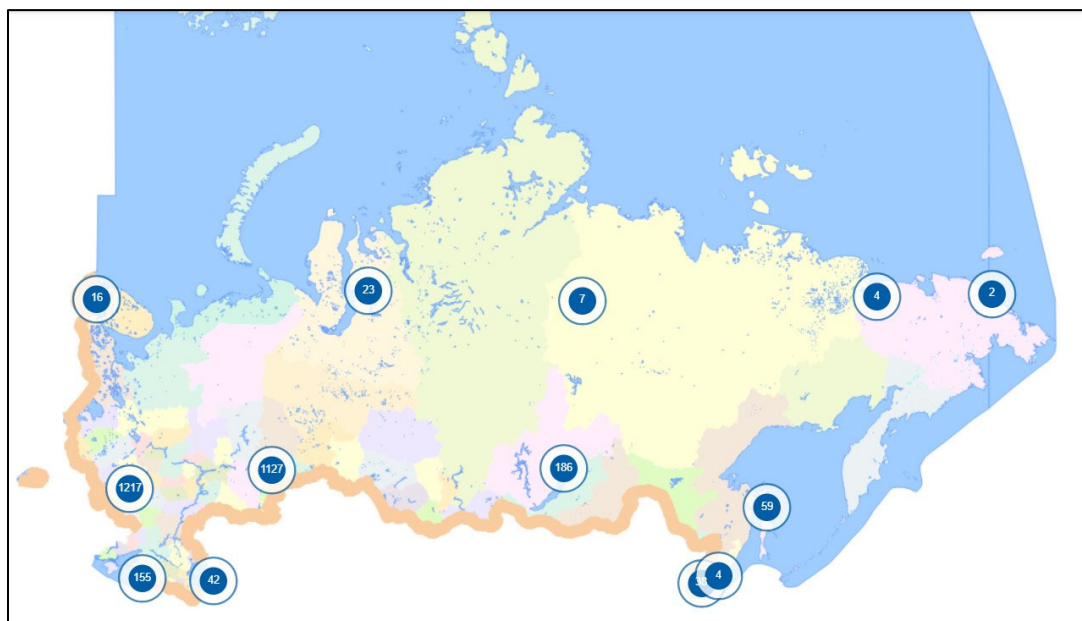


Рис. 1. Сеть ФСГС на территории РФ по данным сайта проекта [10].

Сеть управляется через государственную информационную систему – портал ФСГС, на котором пользователи могут:

- просматривать размещение и статус станций на карте либо в списке;
- получать координаты на текущую и стандартную эпоху;
- анализировать стабильность и доступность пунктов;
- скачивать RINEX-файлы и метаданные.

Обработка координат в системе осуществляется с использованием профессионального программного обеспечения Bernese GNSS [11] и собственных разработок ППК «Роскадастр», они обеспечивают высокую точность и совместимость с международными стандартами (в том числе ITRF). Визуализация координатных смещений, возможность анализа СКО и удобный фильтр по операторам и регионам делают систему эффективным инструментом для решения различных задач.

ФСГС стала важным элементом в реализации государственной политики в области пространственных данных: она обеспечивает передачу достоверной информации в федеральный фонд, создаёт условия для отказа от иностранных ГИС-программ и закладывает инфраструктурную основу для интеграции геодезии в цифровую экономику.

Несмотря на прогресс в формировании национальной системы, развитие сопровождается рядом сдерживающих факторов.

Прежде всего, сохраняется неравномерное территориальное покрытие. Центральные и южные регионы охвачены достаточно плотно, тогда как в Сибири, на

Дальнем Востоке и в арктическом регионе плотность пунктов остаётся недостаточной. Это ограничивает возможности применения высокоточной геодезии в удалённых территориях и крупных инфраструктурных проектах вне мегаполисов.

Частные операторы остаются важным источником поправок для дифференциального позиционирования в большинстве регионов страны. Во многих случаях именно их станции фактически обеспечивают покрытие там, где нет пунктов государственной сети. Однако полноценная интеграция коммерческих станций в ФСГС затруднена: не все из них проходят поверку, верификацию координат или соответствуют установленным требованиям к оборудованию и сбору данных. Также отсутствуют единые правила сертификации, имеются различия в форматах данных и уровнях ответственности. Все это создает барьеры для официального включения в сеть частных станций, несмотря на техническую пригодность.

Кроме того, в некоторых регионах отсутствует устойчивая телекоммуникационная инфраструктура, что делает невозможной круглосуточную передачу данных от станций и снижает стабильность работы сети.

Отдельной проблемой остаётся низкий уровень информированности среди пользователей – многие кадастровые инженеры, геодезисты и региональные специалисты либо не знают о существовании ФСГС, либо не используют её ресурсы из-за недостатка инструкций и адаптированных интерфейсов.

Сравнительный анализ

Для оценки текущего уровня развития российской системы дифференциальных геодезических станций представляется целесообразным провести сравнительный анализ с зарубежными платформами, реализующими различные подходы к организации ГНСС-инфраструктуры.

В таблице 1 приведены ключевые параметры, позволяющие сопоставить технические, организационные и функциональные особенности ФСГС с системами, действующими в США, Германии, Канаде и Австралии. Такой подход позволяет выявить как достигнутые результаты, так и направления для дальнейшего развития российской сети.

Таблица 1

Сравнительная характеристика национальных систем СДГС по ключевым параметрам.

№	Параметр	ФСГС (Россия) [10]	NOAA CORS (США) [2]	CACS (Канада) [4]	SAPOS [5] [12] (Германия)	AUSCORS [7] (Австралия)
1	Общее количество станций	~1 530 (из 2 965)	~2 774 (из 2 929)	~155 (в т.ч. муниципальные)	~270	700+ (в т.ч. за пределами Австралии)

Продолжение табл. 1

2	Покрывтие территории	Покрывтие неравномерное, с высокой плотностью станций в европейской части России и крупных агломерациях, при ограниченном охвате в Сибири, на Дальнем Востоке и в арктических регионах	Полное покрывтие территории (вкл. Аляску и Гавайи)	Почти полное покрывтие (включая северные и арктические регионы)	Полное покрывтие всей территории	Полное покрывтие территории, включая удаленные и труднодоступные регионы
3	Уровень открытости данных	Частично открытый (включая RINEX, метаданные и архив). Доступ через авторизацию на портале или при обращении к оператору	Полностью открытый (включая RINEX, метаданные и архив). Без авторизации	Полностью открытый (включая RINEX, метаданные и архив). Без авторизации	Частично открытый, с тенденцией к полному доступу (RINEX – бесплатно, RTK – платно). Потребуется авторизация	Полностью открытые и бесплатные данные (включая RINEX, метаданные и архив). Потребуется авторизация
4	Стандартизация координатных систем	ГСК-2011, ITRF [13]	NSRS, ITRF	CSRS, NAD83, ITRF	ETRS89, ITRF	ATRF2014, GDA2020, ITRF
5	Поддержка RTK	Нет, у отдельных провайдеров	Нет, у отдельных провайдеров	Нет, у отдельных провайдеров	Да	Да
6	Поддержка RINEX для постобработки	Да	Да	Да	Да	Да
7	Интеграция с ГИС	Ограниченная (в стадии формирования)	Высокая (наука, аграрный сектор, ЧС, кадастр, мониторинг)	Средняя (наука, кадастр, мониторинг)	Высокая (кадастр, топографическая информация, государственные и муниципальные ГИС) [14]	Средняя (кадастр, привязки для 3D-визуализации рельефа)

8	Участие в международных инициативах (IGS и др.)	Не заявлено	Да	Да	Да	Да
9	Централизованное управление	Да (ППК «Роскадастр»/Росреестр)	Да (NOAA, National Geodetic Survey)	Да (Natural Resources Canada)	Да (Bundesamt für Kartographie und Geodäsie)	Да (Geoscience Australia)
10	Наличие частных станций в сети	Да	Да	Да	Нет	Да

При анализе таблицы 1 можно заметить, что ФСГС нуждается в улучшении некоторых параметров, несмотря на значительный рост количества станций, выстроенную систему и институциональные преобразования последних лет.

Во-первых, территориальное покрытие остаётся неравномерным: высокая плотность пунктов наблюдается в европейской части страны и крупных агломерациях, тогда как в Сибири, на Дальнем Востоке и в арктических регионах наблюдается дефицит базовых станций. Это значительно ограничивает возможности применения высокоточной геодезии за пределами центральных регионов.

Во-вторых, уровень открытости данных в ФСГС ограничен: доступ возможен только после авторизации или обращения к конкретным операторам, в то время как в сравниваемых странах данные, включая RINEX, метаданные и архивы, предоставляются в полностью открытом и бесплатном формате. Такая открытость за рубежом способствует как научным исследованиям, так и развитию малого и среднего бизнеса.

В-третьих, интеграция ФСГС с ГИС и цифровыми государственными системами находится в стадии формирования. В зарубежных моделях (например, SAPOS или AUSCORS) данные СДГС активно используются в кадастровых, аграрных и муниципальных платформах, обеспечивая связность пространственной информации на всех уровнях.

Также стоит отметить, что данная система не заявлена как участник международных инициатив (например, IGS), в отличие от зарубежных аналогов. Это не позволяет включить российские данные в глобальные координатные и навигационные решения, а также ограничивает международную верификацию качества станций.

Тем не менее, ФСГС имеет ряд сильных сторон: это централизованное управление, поддержка координатной системы ГСК-2011 и международного стандарта ITRF, а также предоставление данных для высокоточной постобработки. Важно также подчеркнуть наличие в сети как государственных (ФАГС), так и частных станций (EFT CORS [15], PRIN NET [16], SmartNet [17], Topnet

Live-Russia [18] и т.д. [19] [20]) что открывает возможности для гибридной модели развития и распределённого охвата.

В совокупности это позволяет говорить о значительном прогрессе в развитии российской ГНСС-инфраструктуры несмотря на недостатки.

Рекомендации

По результатам проведённого анализа можно сформулировать следующие направления совершенствования СДГС в России

1. Устранение территориального дисбаланса:

- увеличить количество станций в Сибири, на Дальнем Востоке и в арктических регионах за счёт федеральных субсидий и программ стимулирования;
- разработать приоритетные геозоны покрытия с учётом социально-экономического и инфраструктурного значения регионов.

2. Интеграция частных станций:

- внедрить единый механизм сертификации и поверки частных базовых станций с включением в ФСГС;
- стимулировать участие частных операторов через налоговые льготы, доступ к государственной поддержке и публичный статус их пунктов в системе.

3. Открытость и стандартизация данных:

- расширить доступ к данным RINEX и метаданным через публичный интерфейс ФСГС;
- внедрить единые открытые форматы передачи РТК-данных, совместимые с международными стандартами (NTRIP, RTCM).

4. Интеграция с ГИС и цифровыми сервисами:

- развить API-интерфейсы ФСГС для встраивания в кадастровые, проектные и инженерные платформы;
- обеспечить совместимость координатных систем и метаданных с популярными отечественными ГИС.

5. Повышение осведомлённости и квалификации:

- провести информационные кампании среди кадастровых инженеров и геодезистов о возможностях ФСГС;
- разработать обучающие курсы и инструкции по использованию ресурсов ФСГС.

6. Международное сотрудничество:

- инициировать участие ФСГС в международных сервисах (IGS), повысив авторитет и совместимость;
- создать синхронизированные решения для трансформации данных между ГСК-2011 и ITRF.

Заключение

Развитие СДГС в России находится на этапе масштабной трансформации. Формирование ФСГС стало важным шагом к созданию единой и централизованной геодезической инфраструктуры. Однако анализ текущего состояния и международного опыта показывает необходимость устранения территориального

дисбаланса, повышения открытости данных и более глубокой интеграции с цифровыми сервисами. Реализация предложенных рекомендаций позволит повысить точность геодезических работ, расширить сферу применения координатной информации и обеспечить устойчивое развитие пространственных данных в интересах государства, науки и бизнеса.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. International GNSS Service (IGS). About IGS [Электронный ресурс]. – URL: <https://igs.org> (дата обращения: 19.05.2025)
2. National Geodetic Survey (NGS). NOAA CORS Network (NCN) [Электронный ресурс]. – URL: <https://geodesy.noaa.gov/CORS/> (дата обращения: 19.05.2025)
3. Snay, R.A., Soler, T., Continuously operating reference station (CORS): history, applications, and future enhancements. *Journal of Surveying Engineering* 134 (4), 95–104. – 2008.
4. Natural Resources Canada. Canadian Active Control System (CACS) [Электронный ресурс]. – URL: <https://webapp.csrscs-nrcan.gc.ca/geod/data-donnees/cacs-scca.php> (дата обращения: 19.05.2025)
5. BKG – Bundesamt für Kartographie und Geodäsie. SAPOS – Satellitenpositionierungsdienst [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.sapos.de/> (дата обращения: 19.05.2025)
6. European Permanent Network (EPN) – EUREF [Электронный ресурс]. – URL: <https://epncb.oma.be/> (дата обращения: 19.05.2025)
7. Geoscience Australia. AUSCORS – GNSS data and information [Электронный ресурс]. – URL: <https://gnss.ga.gov.au/stream> (дата обращения: 19.05.2025)
8. Официальный сайт сети ФАГС [Электронный ресурс]. – URL: <https://rgs.cgkipd.ru/> (дата обращения: 19.05.2025)
9. Федеральный закон от 04.08.2023 № 491-ФЗ "О внесении изменений в Федеральный закон "О геодезии, картографии и пространственных данных и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации" и отдельные законодательные акты Российской Федерации" [Электронный ресурс]. – URL: <http://publication.pravo.gov.ru/Document/View/0001202308040115> (дата обращения: 19.05.2025)
10. Официальный сайт проекта ФСТС [Электронный ресурс]. – URL: <https://cgkipd.ru/opendata/ark-fsgs.php> (дата обращения: 19.05.2025)
11. Официальный сайт проекта «Bernese GNSS» [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.bernese.unibe.ch/> (дата обращения: 19.05.2025)
12. Rosenthal, G. SAPOS The German National Satellite Positioning Service. // 1st Common Baltic Symposium: GPS-Heighting based on the Concept of a Digital Height Reference Surface (DFHRS) and Related Topics, Latvia, Riga – 2001.
13. Popadyev V, Stolyarov I, Gorobets V, The Russian State Geodetic Coordinate System, Founded on Satellite Network // FIG Working Week 2017, Helsinki, Finland – 2017.
14. Kummer K., Stoffel H., AdV Official German Surveying and Mapping, Germany – 2006.
15. Официальный сайт сети EFT CORS [Электронный ресурс]. – URL: <https://eft-cors.ru/> (дата обращения: 19.05.2025)
16. Официальный сайт сети PRINNET [Электронный ресурс]. – URL: <https://prinnet.ru/> (дата обращения: 19.05.2025)
17. Официальный сайт сети SmartNet [Электронный ресурс]. – URL: <https://smartnetrtk.ru/> (дата обращения: 19.05.2025)
18. Официальный сайт сети Topnet Live-Russia [Электронный ресурс]. – URL: <https://topnet.gsi.ru/> (дата обращения: 19.05.2025)
19. Официальный сайт сети Геоспайдер [Электронный ресурс]. – URL: <https://geospider.ru/> (дата обращения: 19.05.2025)
20. Официальный сайт проекта «Сеть дифференциальных геодезических станций тюменской области» [Электронный ресурс]. – URL: <https://ggs72.ru/> (дата обращения: 19.05.2025)

© Д. В. Крылов, 2025