

О ГЕОДИНАМИКЕ ПОСТОЯННО ДЕЙСТВУЮЩИХ СТАЦИОНАРНЫХ СТАНЦИЙ ГНСС НА ТЕРРИТОРИИ РФ

В.Ф. Бахтиаров («НПК ГЕОПОЛИГОН КФУ»)

В 1974 г. окончил факультет радиотехники и кибернетики Московского физико-технического института по специальности «радиоэлектронные устройства». С 1972 г. работал в Конструкторском бюро радиотехнических приборов им. академика А.А. Расплетина, с 1977 г. — в Институте вулканологии и сейсмологии ДВО РАН (Петропавловск-Камчатский), с 2000 г. — в Камчатской опытно-методической сейсмологической партии. С 2012 г. работает в ООО «НПК ГЕОПОЛИГОН КФУ», в настоящее время — инженер-геодезист.

Р.В. Загреддинов (Казанский (Приволжский) федеральный университет)

В 1978 г. окончил физический факультет Казанского государственного университета (в настоящее время — Казанский (Приволжский) федеральный университет — К(П)ФУ) по специальности «астрономо-геодезист». С 1983 г. по 1985 г. учился в аспирантуре Института теоретической астрономии АН СССР (Санкт-Петербург). С 1978 г. работает на кафедре астрономии и космической геодезии физического факультета К(П)ФУ (с 2010 г. — Институт физики), в настоящее время — доцент. Кандидат физико-математических наук.

Количество постоянно действующих стационарных станций ГНСС в России и, особенно, в ее европейской части в последние годы резко увеличилось. Это связано с широким использованием метода RTK (Real Time Kinematic), позволяющего в режиме реального времени определять координаты съемочных точек при проведении кадастровых, инженерно-геодезических и других видов работ, требующих оперативного и точного позиционирования с сантиметровой точностью. По нашим и сторонним оценкам [1] количество подобных станций в РФ уже превысило полторы тысячи и продолжает быстро расти. Сведения по таким станциям ГНСС достаточно разрозненные, а полноценную (легитимную) информацию о расположении станций и их владельцах можно получить только в разделе «Открытые данные — Геодезические сети специального на-

значения» на сайте ФГБУ «Центр геодезии, картографии и ИПД» (<https://cgkipd.ru/opendata/GSSN>). В этом разделе размещены метаданные из отчетов (открытого пользования) о создании геодезических сетей специального назначения, предоставленных их правообладателями и помещенных в федеральный фонд пространственных данных. Метаданные включают информацию: о количестве и местоположении станций ГНСС, об исполнителях работ по их установке и правообладателях данных и др. На декабрь 2020 г. на сайте имелась информация о 551 станции региональных и коммерческих операторов сетей высокоточного позиционирования, а на февраль 2021 г. — уже о 663 станциях.

Кроме того, на сайте сервиса «РГС-Центр» (<https://rgs-centre.ru>), созданного ФГБУ «Центр геодезии, картографии и ИПД», достаточно подробно представ-

лена информация о более чем 50 пунктах ФАГС: их местоположение, RINEX-файлы, координаты рабочих центров пунктов и скорость их изменения в системе координат ГСК–2011 на эпоху 1 января 2011 г.

Эти данные показывают, что помимо ФАГС и спутниковых сетей субъектов РФ активно разворачиваются коммерческие сети ГНСС, предоставляющие на платной основе данные о станциях и поправки в ГНСС-измерения в режиме реального времени.

Все эти сети используются, прежде всего, для решения прикладных региональных задач. При этом на стационарных постоянно действующих станциях собирается огромный объем файлов ГНСС-наблюдений, включающих координатно-временную информацию, передаваемую спутниками ГНСС: ГЛОНАСС, GPS, а в последние годы Beidou и Galileo, и результаты ее обработки приемника-

ми станций. Эти данные представляют большую ценность для решения широкого спектра научных задач, таких как глобальная и региональная геодинамика, исследование явлений в тропосфере и ионосфере [1–5].

К сожалению, в отличие, например, от США, где имеется сеть CORS Национальной геодезической службы (www.ngs.noaa.gov/CORS), которая собирает, систематизирует, хранит и предоставляет всем желающим информацию со стационарных постоянно действующих станций ГНСС, в Российской Федерации такая служба пока отсутствует.

В Казанском (Приволжском) федеральном университете создана и функционирует автоматизированная система сбора и обработки ГЛОНАСС/GPS данных с более чем 600 стационарных станций ГНСС на территории РФ (рис. 1), основанная на использовании широко известных программных комплексов GAMIT (Массачусетский технологический институт, США) и BERNESE (Астрономический институт Бернского университета, Швейцария). Измерения ежедневно скачиваются непосредственно с приемников ГНСС или

FTP-серверов, анализируются и архивируются, а затем вычисляются высокоточные координаты пунктов в WGS–84 с привязкой к международной сети IGS (International GNSS Service) в ITRF-реализации.

С серверов сети TopNETlive (ООО «ГЕОСТРОЙИЗЫСКАНИЯ», <http://topnet.gsi.ru>), сети PrinNet (АО «ПРИН», http://prin.ru/seti_referencyh_stancij), БУ «Центр информационных технологий» Чувашской Республики (ЦИТ-11), сети «Базовые Станции Поволжья» (НПО «Градиент», <http://ooogradient.ru/>), а также непосредственно с приемников на территории Республики Татарстан и Самарской области, данные скачиваются автоматически. Данные постоянно действующих базовых станций ГНСС сети HxGN SmartNet (ООО «ГЕКСАГОН ГЕОСИСТЕМС РУС», <https://hxgn-smartnet.com/ru-ru>), сети EFT-CORS (EFT GROUP, <https://eft-cors.ru>) и пунктов ФАГС РФ, к сожалению, приходится собирать в ручном режиме через web-интерфейс.

При необходимости файлы с «сырыми» данными, полученными приемниками ГНСС конвертируются в файлы формата RINEX, у каждого такого файла

редактируется шапка, полученные файлы сжимаются в формате Hatanaka + gzip и сохраняются в виде иерархического архива.

Редактирование шапки файла в формате RINEX заключается в том, что удаляются лишние строки, например, COMMENT; вставляется более-менее адекватная строка OBSERVER/AGENCY; корректируются, если необходимо, строки REC и ANT согласно требованиям IGS; удаляется строка MARKER NUMBER. Эта строка должна отсутствовать или иметь ведущие пробелы для станций, не имеющих номера IGS или другого номера. Весьма часто сюда вставляется строка MARKER NAME — это неправильно. Тогда ее придется редактировать: в этой строке должно быть 4 символа в верхнем регистре с позиции 0, а с позиции 20 возможно длинное имя. Некоторые станции приходится переименовывать, так как их имена совпадают с уже имеющимися именами станций в архиве системы.

Так, были переименованы перечисленные ниже станции (их новые имена выделены курсивом):

— сеть HxGN SmartNet: ALME — *ALMS*; ZAIN — *ZAIS*; SARA —

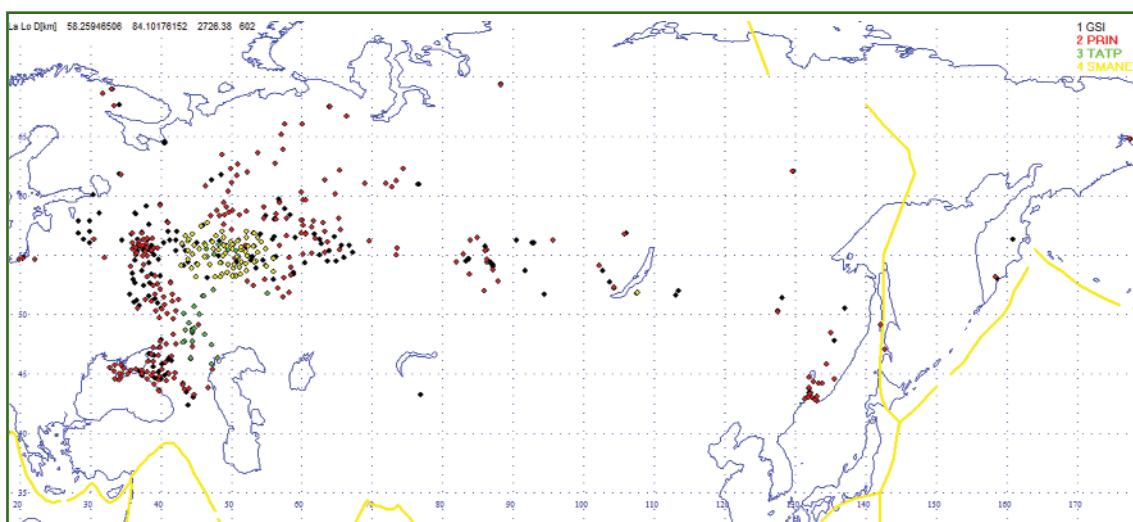


Рис. 1

Стационарные станции ГНСС, функционировавшие на территории РФ в 2020 г.

SARS; CHEB — CHES; NIKL — NIKS; KAZN — KAZS; SAMR — SAMS; MAMA — MAMS; NNOV — NNOS; ULIA — ULIS;

— сеть PrinNet: ALMT — ALMP; NEFT — NEFP; RAEV — RAEP; ASTR — ASTP; NNOV — NNOP; SERG — SERP; KIRV — KIRP.

Для станций, имеющих историю непрерывных наблюдений более 1,5–2 года, были вычислены достаточно надежные ITRF-координаты и скорости.

На рис. 2 изображены стационарные станции ГНСС с более чем четырехлетней историей непрерывных наблюдений, которые функционировали в 2020 г. Для этих станций были вычислены ITRF-координаты и скорости смещений, которые на рисунке показаны векторами красного цвета в плане, а зеленого — по высоте.

Для станций с историей наблюдений более четырех лет ITRF-координаты могут использоваться, например, для уточнения модели глобальных скоростей NUVEL или как опорные для совершенствования глобальной геодезической системы координат на территории РФ. Со временем количество таких станций будет только увеличиваться, поскольку в настоящее время уже имеется достаточно много станций со стабильным пространственным положением, подтвержденных качественными временными рядами наблюдений за трехлетний период.

Файл с вычисленными ITRF-координатами всех включенных в обработку станций можно найти на FTP-сервере проекта (<ftp://178.213.241.23>) — рис. 3. Там же дополнительно доступны временные ряды изменения координат на станциях и ссылки на RINEX-файлы ГНСС-наблюдений. Кроме того, здесь можно скачать программу для визуализации планового положения станций (RF.7z), как представлено на рис. 1 и 2, и построения временных рядов изменения координат по результатам наблюдений (рис. 5 и 6).

Одной из базовых станций ГНСС с длительной историей непрерывных измерений является станция KZN2, установленная в городской астрономической обсерватории Казанского (Приволжского) федерального университета (рис. 4), которая с 2012 г. входит в состав международной сети IGS (<https://www.igs.org/imaps/station.php?id=KZN200RUS>). В качестве примера обработки, выполненной авторами, на рис. 5 приведен временной ряд изменения координат в плане (N и E) и по высоте (U), полученный по вычисленным ITRF-координатам станции KZN2 за весь период наблюдений. Станция KZN2 вполне может использоваться дополнительно к другим станциям IGS для совместной RNX2SNX обработки.

На рис. 6 приведен временной ряд координат на станции

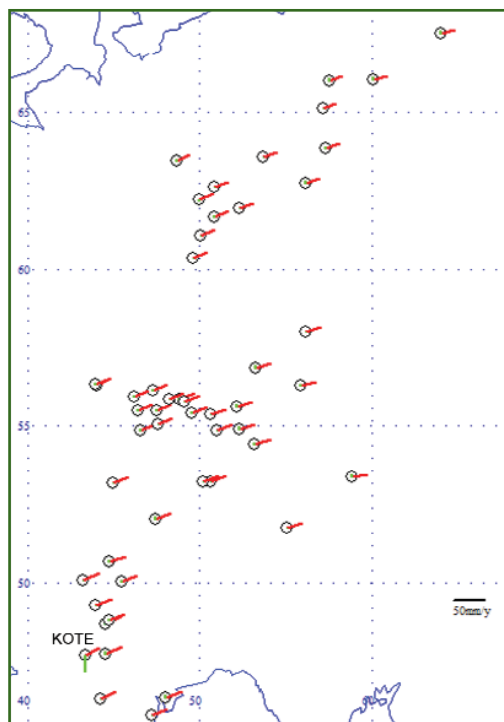


Рис. 2
Стационарные станции ГНСС с более чем четырехлетней историей непрерывных наблюдений

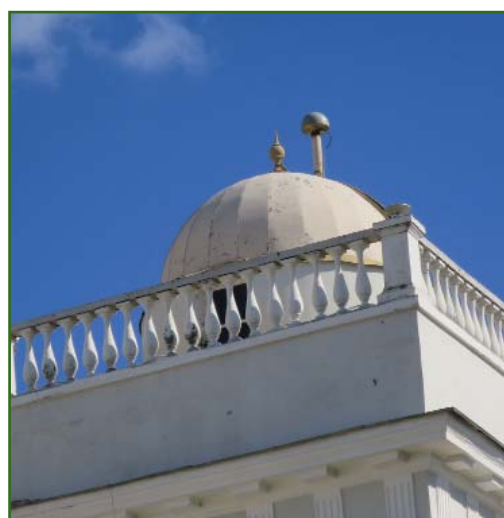


Рис. 4
Антенна базовой станции KZN2 на крыше городской астрономической обсерватории К(П)ФУ

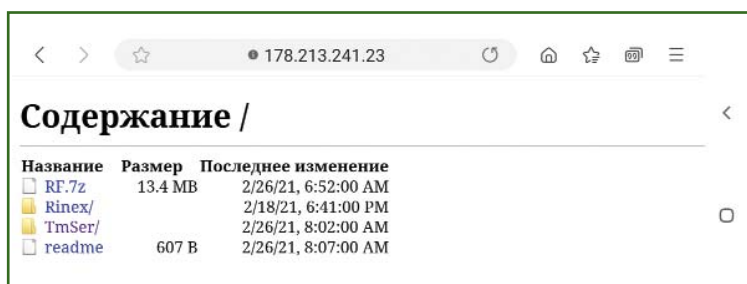


Рис. 3
Экранная копия главной страницы FTP-сервера проекта

KOTE, расположенной в Волгоградской области, по результатам обработки ГНСС-наблюдений с 2016 г. по 2020 г. Здесь видна постоянная осадка станции со скоростью около 30 мм/год (на рис. 2 осадка этой станции обозначена век-

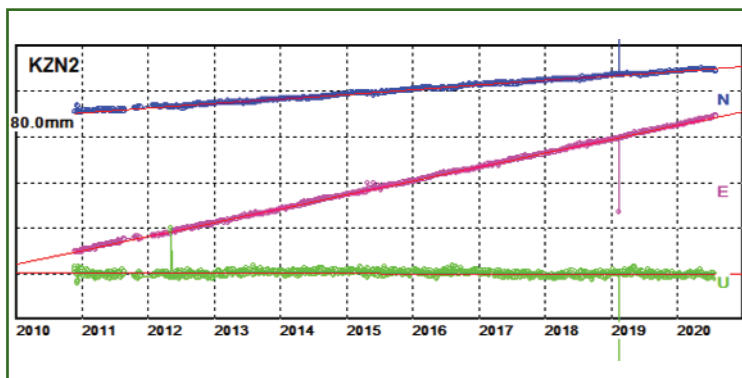


Рис. 5

Пример временных рядов изменения координат на станции KZN2 с длительной историей непрерывных наблюдений

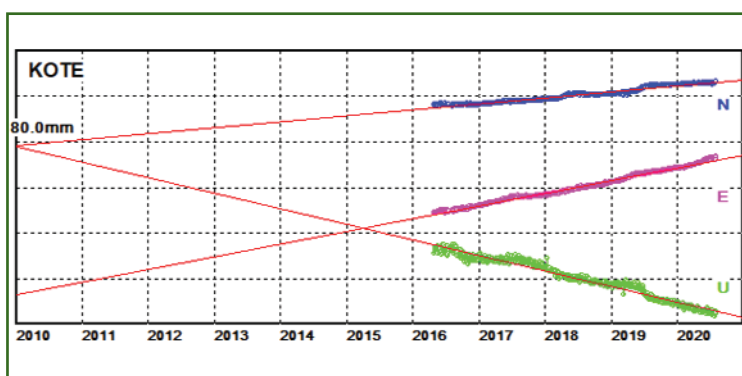


Рис. 6

Временные ряды изменения координат на станции KOTE за период наблюдений с 2016 по 2020 г.

тором зеленого цвета). Скорость вертикальной компоненты данной станции сильно отличается от других станций и требует отдельного изучения.

Правообладатели коммерческих сетей ГНСС используют данные постоянно действующих базовых станций ГНСС для предоставления сервиса RTK-поправок. Эти данные (файлы ГНСС-наблюдений), как правило, хранятся в разрозненном неструктурированном виде в течение 2–3 месяцев. Затем, за ненадобностью, их удаляют. Глобальный анализ данных ГНСС-наблюдений на базовых станциях требует однородности материалов и единой программной оболочки для автоматизации обработки. Такой механизм разработан авторами с использованием программ-

ных комплексов BERNESE и GAMIT.

Приглашаем к сотрудничеству правообладателей данных с постоянно действующих базовых станций ГНСС. Мы гарантируем, что файлы ГНСС-наблюдений не будут потеряны, а внесут вклад в изучение геодинимических процессов на территории РФ и решение ряда других научно-прикладных задач [3]. В свою очередь, операторы сетей ГНСС смогут получать информацию как о глобальных координатах собственных станций, так и о стабильности их пространственного положения во времени. Если антенна станции ГНСС плохо закреплена или здание, где она установлена, испытывает деформации, анализ временных рядов координат позволит выявить эти явле-

ния и вовремя принять меры по их устранению.

Значительную научную и практическую ценность представляют данные, полученные на базовых ГНСС-станциях в период с 2000 г. по 2015 г., когда число подобных станций на территории РФ было чрезвычайно мало.

Авторы публикации выражают благодарность правообладателям и операторам сетей TopNETlive, PrinNet, HxGN SmartNet, EFT-CORS и ряда других проектов за безвозмездно предоставленные данные ГНСС-наблюдений.

▼ Список литературы

1. Вдовин В.С., Дворкин В.В., Карпик А.П., Липатников Л.А., Соколин С.Д., Стеблов Г.М. Проблемы и перспективы развития активных спутниковых геодезических сетей в России и их интеграции в ITRF // Вестник СГУГиТ. — Т. 23. — № 1. — 2018. — С. 6–27.

2. Бовшин Н.А. Исследование возможностей использования постоянно действующих референционных станций в высокоточной геодезии и геодинимике // Геодезия и картография. — 2019. — Т. 80. — № 6. — С. 2–15.

3. Загретдинов Р.В., Бахтияров В.Ф. Об использовании научного потенциала стационарных GNSS станций Поволжского региона // Актуальные вопросы геодезии и геоинформационных систем: Программа, тезисы и доклады V международной научно-практической конференции. — Казань, 2016. — С. 132–138.

4. Бахтияров В.Ф., Загретдинов Р.В. Об использовании глобальных систем координат в геодезии // VIII Научно-практическая конференция «Актуальные вопросы геодезии и геоинформационных систем», 2019. — С. 183–191.

5. Бахтияров В.Ф., Загретдинов Р.В., Комаров Р.В. Координатно-временные аспекты создания спутниковых сетей специального назначения // Актуальные вопросы геодезии и геоинформационных систем: Программа, тезисы и доклады VI международной научно-практической конференции. — Казань, 2017. — С. 162–166.