

База геодинимических данных для Русской платформы

© П. В. Мовсесян¹, Н. В. Щербакова², В. Л. Горшков², С. Д. Петров¹, Д. А. Трофимов¹

¹Санкт-Петербургский государственный университет, г. Санкт-Петербург, Россия

²Главная астрономическая обсерватория РАН, г. Санкт-Петербург, Россия

Реферат

Работа посвящена созданию базы геодинимических данных, аккумулирующей данные с ГНСС-станций, входящих в различные сети, как научные, так и коммерческие. База предназначена для исследования геодинимики Русской (Восточно-Европейской) платформы, что ограничивает территориальное расположение станций, входящих в базу. Из-за того что в базе имеются данные о более чем восьмиста станциях, ручная обработка и визуализация всех данных является слишком трудоемкой задачей.

База данных, рассматриваемая в работе, создается на основе базы данных, созданной в ГАО РАН, но с применением новых методов хранения, обработки и визуализации данных. Это позволяет значительно упростить процесс визуализации положений станций и их данных, снижая необходимость в трудоемкой ручной обработке. Процесс обработки сырых данных состоит из ГНСС-обработки и последующего анализа ряда получаемых положений станций.

Была выполнена автоматизация процессов загрузки данных станций. Автоматизирована обработка ГНСС-наблюдений, хранящихся в базе. За счет более высокой степени автоматизации ожидается упрощение поддержки обработки столь высокого числа станций, что уменьшит задержки между появлением сырых данных и получением их координат и скоростей. Помимо визуализации и обработки данных базы реализована возможность получения текущего состояния таблиц с положениями для самостоятельного анализа в машиночитаемом формате.

Ключевые слова: ГНСС, базы данных.

Контакты для связи: Мовсесян Павел Владимирович (mousesyanpv@gmail.com).

Для цитирования: Мовсесян П. В., Щербакова Н. В., Горшков В. Л., Петров С. Д., Трофимов Д. А. База геодинимических данных для Русской платформы // Труды ИПА РАН. 2024. Вып. 71. С. 34–39.

<https://doi.org/10.32876/AplAstron.71.34-39>

Geodynamic Database for Russian Platform

P. V. Mousesyan¹, N. V. Scherbakova², V. L. Gorshkov², S. D. Petrov¹, D. A. Trofimov¹

¹Saint Petersburg State University, Saint Petersburg, Russia

²The Central Astronomical Observatory of the Russian Academy of Sciences at Pulkovo, Saint Petersburg, Russia

Abstract

The work deals with the development of a geodynamic database that accumulates data from GNSS stations included in various networks, both scientific and commercial. The database is used for geodynamic research of the East European Craton, which limits the positions of the stations included. Due to the fact that the database contains more than eight hundred stations, manual processing and visualization of all the data proves to be too laborious.

The database is developed on the basis of the database brought into being at the Pulkovo Observatory, but with the use of modern methods for storing, processing and visualizing data. This greatly simplifies the process of visualizing station positions and their data, reducing the need for time-consuming manual processing. The raw data processing consists of GNSS processing, and further analysis of a series of station positions.

The downloading of station data and the GNSS processing the data in the base has been automated. Due to the higher degree of automation, the support for processing such a large number of stations is expected to be simplified, which will reduce the delays between the availability of raw data, as well as station positions and velocities.

Keywords: GNSS, database.

Contacts: Pavel V. Mousesyan (mousesyanpv@gmail.com).

For citation: Mousesyan P. V., Scherbakova N. V., Gorshkov V. L., Petrov S. D., Trofimov D. A. Geodynamic database for Russian platform // Transactions of IAA RAS. 2024. Vol. 71. P. 34–39.

<https://doi.org/10.32876/AplAstron.71.34-39>

Введение

Развитие технологий спутниковой навигации, построение ГНСС, достигнутая точность определения координат пунктов методами ГНСС, а также повсеместная доступность навигационного сигнала и стоимость оборудования сделали ГНСС основным средством для мониторинга и исследования медленных геодинамических процессов. Современное состояние развития ГНСС-сетей, данные которых используются в геодинамических исследованиях, ставит задачу по организации сбора наблюдений, хранения необработанных наблюдательных данных, их обработки, хранения результатов обработки и визуализации. Эта задача возникла в связи с тем, что наблюдения выполняются на различных сетях, созданных с разными целями. Существуют геодинамические станции и сети, разработанные научными организациями для наблюдений прежде всего в научных целях, существуют сети, созданные коммерческими организациями или государственными (муниципальными) структурами для хозяйственных целей. Разница в целях диктует разные подходы к организации и хранению данных: научные организации заинтересованы в долговременных рядах наблюдений, коммерческие организации — как правило, нет. Это приводит к тому, что данные коммерческих сетей через определенное время с момента наблюдений (~6 месяцев) безвозвратно удаляются, чтобы освободить место для хранения новых наблюдений. Кроме того, каждая сеть обладает собственной архитектурой базы данных, даже в случае наличия

доступа к данным нескольких сетей, исследователю необходимо привести все данные к единообразному виду. Данная техническая работа весьма трудоёмка и может являться тормозом в работе отдельного исследователя или коллектива. Таким образом, возникает задача создания баз данных, в которых аккумулируются наблюдения, выполненные на различных сетях, как научных, так и коммерческих. Данные в таких базах должны быть приведены к единообразному виду, возможно, выполнена первичная обработка наблюдений и получены параметры движения станций. Подобные базы, пусть и трудоёмкие при своём создании, являются важными научными инструментами для геодинамических исследований.

В качестве примеров подобных баз можно привести базу JPL ([NASA, JPL, GNSS Time Series](#)) и базу ГАО РАН ([База данных скоростей ГНСС-станций](#)). У каждой из них есть свои достоинства и недостатки. База JPL, например, при большом количестве станций слабо покрывает территорию России, включая в себя лишь 13 российских станций, что недостаточно для исследований. База ГАО РАН охватывает область, примерно ограниченную рамками Восточно-Европейской платформы, однако получение, обработка и визуализация данных для нее производятся с низкой степенью автоматизации, что ставит препятствия на пути дальнейшего развития этой базы. В базу ГАО РАН входит более восьмисот станций, однако часть из них прекратила наблюдения, часть перестала предоставлять

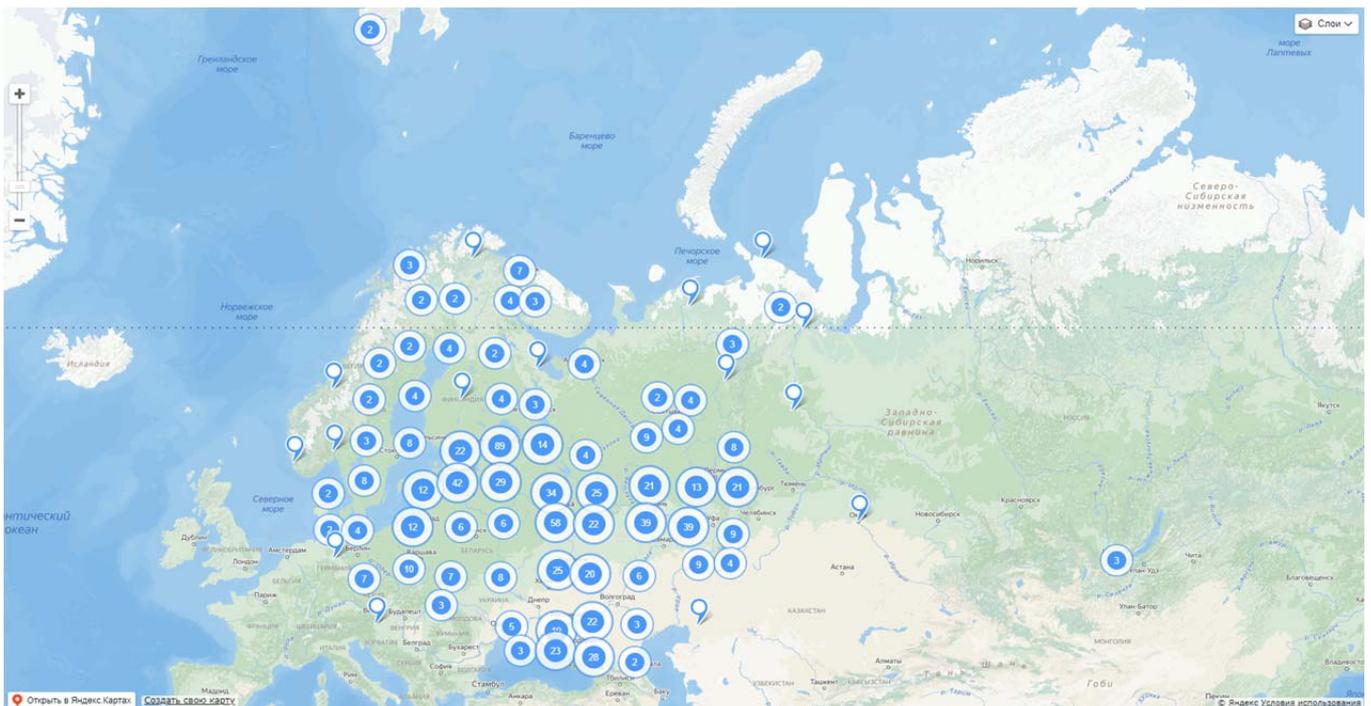


Рис. 1. Карта ГНСС-станций, входящих в базу данных

данные, часть изменила их расположение либо изменила формат предоставляемых данных вследствие смены приемника, что требует постоянных изменений в процессах загрузки и обработки. В случае изменения приемника или антенны в данных базы ГАО РАН делается соответствующая отметка на случай изменения динамики этой станции, так как данное изменение вызвано именно заменой оборудования, а не геодинимическими процессами. Также часть станций может участвовать в нескольких сетях, что приводит к необходимости отождествления для исключения дублирующихся станций. База ГАО РАН сначала имела плотное покрытие Балтийского щита, что использовалось для исследований его динамики. Постепенно ее покрытие расширилось на всю Восточно-Европейскую платформу. Охват базы и плотность станций позволяют вести уже не только геодинимические исследования, но и проводить исследования тропосферы. С целью дальнейшего развития геодинимических исследований, начатых в ГАО РАН, в СПбГУ совместно с ГАО РАН, были начаты работы по созданию обновленной версии базы геодинимических данных. Возникающие сложности при обработке и визуализации данных от большого числа станций решаются при помощи более высокой степени автоматизации обработки с применением современных подходов в разработке. Доступ к обновленной базе осуществляется с помощью сети Интернет, по адресу <https://gnss.ru>. Карта расположения станций, входящих в базу, представленная на рис. 1, взята с заглавной страницы сайта и дает визуальное представление о распределении станций на территории. Помимо отображения станций на карте и предоставления данных от них на сайте есть

возможность визуализации вышеупомянутых данных в виде графиков.

Загрузка и хранение сырых данных

Сбор и хранение сырых данных является базовой задачей при создании подобной базы данных. Учитывая объемы базы (более восьмисот станций) данная задача должна решаться в автоматическом режиме.

В качестве СУБД (Системы управления базами данных) была выбрана MongoDB. MongoDB — документоориентированная база данных, что делает ее наиболее подходящей для хранения временных рядов координат и смещений станций. База данных содержит коллекции с параметрами загрузки и обработки для каждой станции, список координат станций для нанесения их на карту на сайте и коллекции для каждой станции с временными рядами координат. Хранение данных осуществляется на сервере с отказоустойчивым массивом жестких дисков (RAID 10).

Был разработан скрипт-загрузчик на Python. Данный язык программирования был выбран по нескольким причинам:

- для Python существует множество библиотек, использование которых способно значительно упростить процесс разработки;

- этот язык интерпретируемый, что облегчает размещение и отладку с использованием нескольких компьютеров;

- Python создавался как язык, синтаксис которого легко читать, что облегчает понимание кода, а это, в свою очередь, упростит поддержку скриптов в будущем;

- язык более удобен для анализа данных, а реализовывать все этапы, начиная с загрузки данных, наиболее выгодно на одном языке.

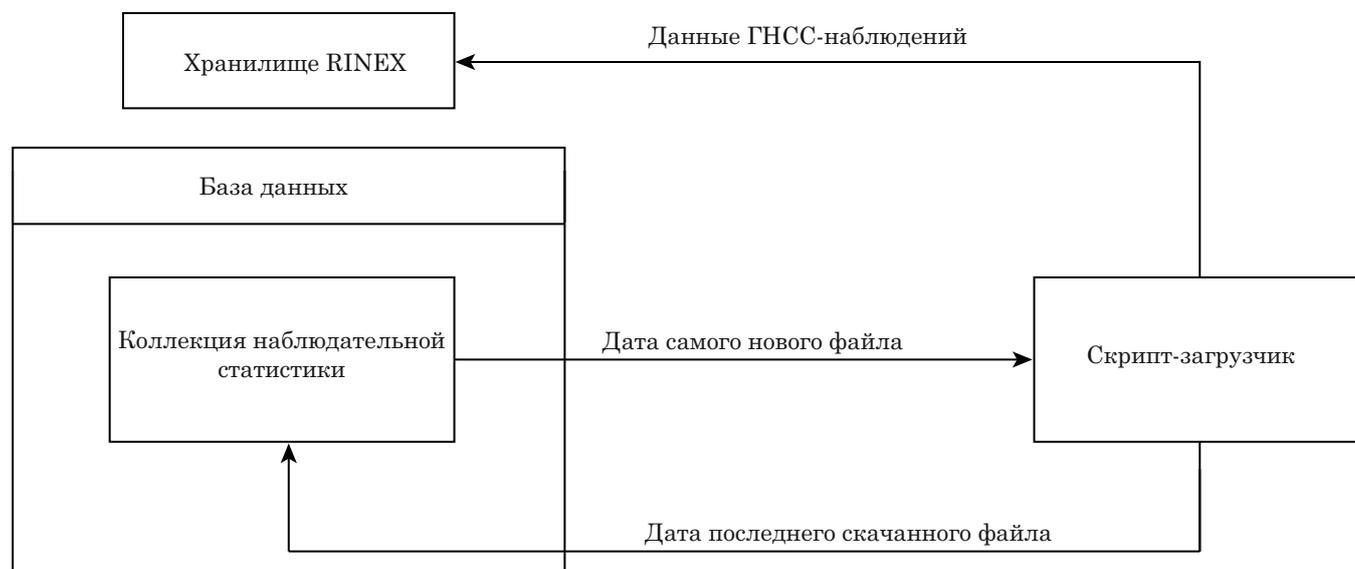


Рис. 2. Схема загрузки

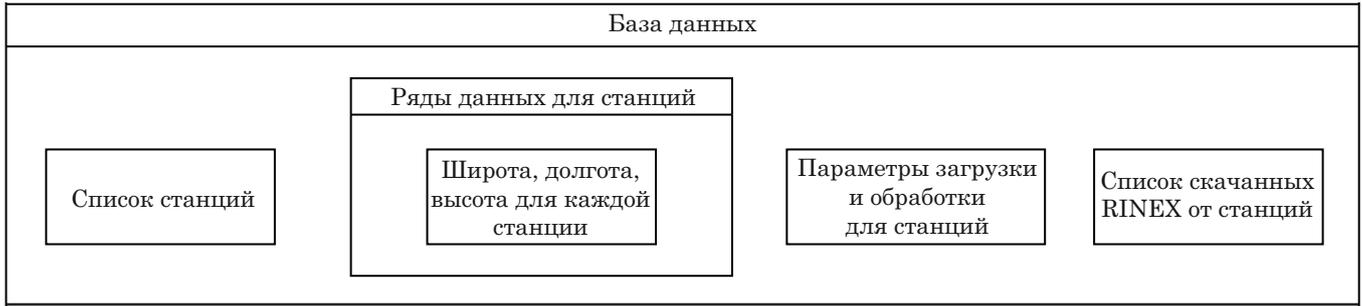


Рис. 3. Схема базы данных

Скрипт поддерживает выполнение загрузок на машине, отличной от той, на которой он запускается, по SSH (Secure Shell). Из базы данных он берет конфигурацию, в которую входят пути для загрузки, форматы имен файлов и опции для подготовки скачанных файлов к обработке, для каждой станции. Данный скрипт автоматически определяет дату, с которой ему следует начинать искать новые файлы для каждой станции, используя информацию из базы данных. Схема работы показана на рис. 2. Схема организации базы данных показана на рис. 3. После того как скрипт скачивает файлы, он выполняет конвертацию их в RINEX 2 для дальнейшей обработки. Помимо конвертации форматов скрипт может склеивать файлы наблюдений, если длительность наблюдений в них менее суток.

Обработка наблюдательных данных

Обработка наблюдений производится с целью определения координат станций и скоростей их движения на основе анализа долговременных рядов координат станций. На настоящий момент времени обработка выполняется в программном пакете GIPSY ([NASA. JPL. GipsyX](https://www.nasa.gov/jpl/gipsy)). Так как используемая версия программы довольно старая,

было принято решение выполнять ГНСС-обработку на отдельной ЭВМ, что позволяет использовать совместимые версии библиотек, необходимых для работы GIPSY. Скрипт-обработчик написан на Python, работает на сервере и вызывает программы обработки на вышеупомянутой машине. Директории с исходными данными, расположенные на сервере-хранилище, для обработки в GIPSY подмонтированы на ЭВМ-обработчике. Результаты GIPSY проходят постобработку, затем записываются в базу данных. Схема работы показана на рис. 4.

Подготовка данных к обработке

Для обработки данных станций в GIPSY необходимо выполнить определенные подготовительные действия. Заполняются файлы, содержащие список станций и информацию о приемниках и антеннах, использующихся на них. Вносятся такая информация, как примерное положение станций, модели и номера приемников, а также используемые версии прошивок. Для антенн указывается модель, номер, наличие радома, смещения фазового центра. Помимо заполнения информации о станции и используемом на ней оборудовании, вносится информация об океанических



Рис. 4. Схема обработки

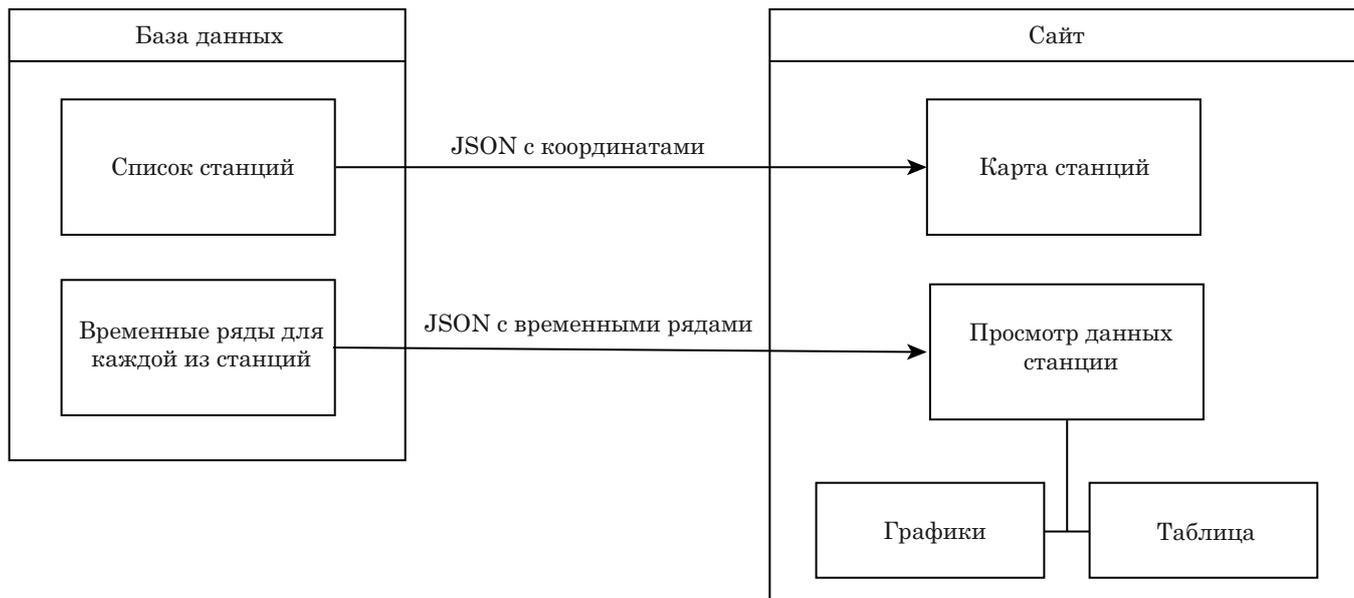


Рис. 5. Схема сайта

нагрузках. Океанические нагрузки получают на сервисе <http://holt.oso.chalmers.se>, при использовании модели GOT4.7. Так как различные источники сырых данных предоставляют их в разных форматах, которые могут не поддерживаться GIPSY, часто необходимо произвести их преобразование. Файлы наблюдений конвертируются в RINEX 2.11 с децимацией, чтобы на обработку подавались тридцатисекундные файлы. Получившиеся файлы готовы к обработке в GIPSY.

Постобработка результатов

После получения координат в GIPSY необходимо учесть ряд поправок, таких как атмосферные нагрузки и грунтовые воды. Скрипты, учитывающие эти поправки, формируют итоговые данные о положениях станций, которые записываются в базу данных. После уточнения положений станций выполняется определение их скоростей, с применением методов, описанных в работе других исследователей (Горшков и др., 2017; Горшков и др., 2021; Горшков, Щербакова, 2019). Учитываемые поправки и их источники перечислены в таблице.

Таблица

Учитываемые поправки

Тип поправок	Источник
Атмосферные нагрузки	http://massloading.net/atm/index.html
Грунтовые воды	http://loading.u-strasbg.fr/sg_hydro.php

Визуализация

Для удобства доступа к данным был создан сайт. Сервер написан на NodeJS и предоставляет информацию из базы в реальном времени. Был выбран NodeJS, так как это один из наиболее популярных инструментов для серверного кода. Данные станций для сайта хранятся следующим образом:

- коллекция со списком станций и их координатами;
- для каждой станции создана коллекция с ее рядами данных.

Станции наносятся на карту на стороне клиента, используя JavaScript API Яндекс Карт, что исключает необходимость добавления станций вручную. Для каждой станции по запросу посетителя сайта есть возможность построения интерактивных графиков с данными. Графики строятся с помощью библиотеки Chart.js. Также имеется возможность получить эти данные в машиночитаемом формате. Процесс взаимодействия сайта и базы данных показан на рис. 5.

Литература

Горшков В. Л., Мохнаткин А. В., Щербакова Н. В. База скоростей станций ГНСС восточно-европейской платформы для решения научных и прикладных задач // Геодезия и картография. 2021. Vol. 967. P. 34–44.

Горшков В. Л., Мохнаткин А. В., Щербакова Н. В. О создании базы данных скоростей ГНСС-станций // Труды ИПА РАН. 2017. Вып. 43. С. 60–69. URL: <http://iaaras.ru/library/paper/1765/>.

Горшков В. Л., Щербакова Н. В. Развитие базы данных скоростей ГНСС-станций на территории восточно-европейской платформы [Электронный ресурс] //

Труды ИПА РАН. 2019. Вып. 51. С. 58–62. URL: <http://iaaras.ru/library/paper/2011/>.

База данных скоростей ГНСС-станций [Электронный ресурс]. URL: http://www.gaoran.ru/russian/database/station/databasev_rus.html (дата обращения 10.06.2024)

EOST Loading Service. Hydrological loading [Электронный ресурс]. URL: http://loading.u-strasbg.fr/sg_hydro.php (дата обращения 12.06.2024).

NASA. Jet Propulsion Laboratory. GipsyX [Электронный ресурс]. URL: <https://gipsy-oasis.jpl.nasa.gov> (дата обращения 12.06.2024).

NASA. Jet Propulsion Laboratory. GNSS Time Series [Электронный ресурс]. URL: <https://sideshow.jpl.nasa.gov/post/series.html> (дата обращения 12.06.2024).