DOI 10.15826/B978-5-7996-3848-1.18

ИССЛЕДОВАНИЕ СМЕЩЕНИЙ БАЗОВЫХ ГНСС-СТАНЦИЙ НА УРАЛЕ В 2022—2023 гг.

Д. В. Листвин, Э. Д. Кузнецов
Уральский федеральный университет

С целью исследования закономерностей движения земной коры на Урале проведен анализ изменения координат пунктов сети долговременных базовых станций глобальных навигационных спутниковых систем. Доступ к данным измерений был предоставлен компанией «ПРИН». С помощью программы GAMIT/GLOBK исследованы вариации координат десяти базовых станций в течение 2022—2023 гг. Получены оценки смещений координат станций: векового тренда, амплитуд и периодов колебаний на двухлетнем интервале.

INVESTIGATION OF DISPLACEMENT OF REFERENCE GNSS-STATIONS IN THE URALS DURING 2022–2023 YEARS

D. V. Listvin, E. D. Kuznetsov
Ural Federal University

We analyzed the change of coordinates of the points of the continuous operating reference stations network of global navigation satellite systems to investigate the regularities of the Earth's crust movement in the Urals. Access to the measurement data was provided by the PRIN company. Using the GAMIT/GLOBK software, the variations of coordinates of ten base stations during 2022—2023 were investigated. Estimates of station coordinate displacements were obtained: secular trend, amplitudes and periods of variations over a two-year interval.

Введение

Согласно современным представлениям кора Земли разделена на литосферные плиты, которые перемещаются со скоростью до нескольких сантиметров в год. Кроме глобальных движений земной коры есть региональные, которые также представляют интерес с точки зрения геодинамики. На территории России подобные исследования выполняются в регионах, ведущих активную добычу полезных ископаемых (см., например, [1]). На Урале также ведется разработка месторождений полезных ископаемых, кроме того, существует сеть разломов, которые связаны с Уральскими горами. В настоящей работе выполнен анализ вариаций координат долговременных базовых станций глобальных навигационных спутниковых систем (ГНСС-станций), входящих в региональную сеть станций АО «ПРИН» (`https://www.prin.ru/`), с целью выявления признаков смещений земной коры на Урале.

Описание методики решения поставленных задач

Для проведения исследования была выбрана развернутая на Урале сеть базовых ГНСС-станций российской компании «ПРИН». Рассматриваемая сеть достаточно густая для изучения региональных особенностей движений земной коры. Было выбрано 10 базовых станций в 10 городах Урала (см. таблицу).

© Листвин Д. В., Кузнецов Э. Д., 2024

Список базовых ГНСС-станций

Базовая станция	Местоположение
ALAP	г. Алапаевск, Свердловская область
BERE	г. Березники, Пермский край
BLRK	г. Белорецк, Республика Башкортостан
CHBA	г. Челябинск, Челябинская область
IRBT	г. Ирбит, Свердловская область
KRGN	г. Курган, Курганская область
MIAS	г. Миасс, Челябинская область
REZH	г. Реж, Свердловская область
SHMH	г. Шумиха, Курганская область
UGRS	г. Югорск, Ханты-Мансийский автономный округ

На станциях установлено стандартное ГНСС-оборудование: приемники на основе платы Trimble BD970, которые могут принимать сигналы спутников систем GPS, ГЛОНАСС, BeiDou, Galileo, и многофункциональные антенны HXCCSX601A и CHCC220GR. Антенна HXCCSX601A может принимать сигналы от всех ГНСС, антенна CHCC220GR — только от GPS и ГЛОНАСС.

Для обработки результатов ГНСС-измерений сети базовых станций использовалось программное обеспечение GAMIT/GLOBK. Оно предназначено для анализа ГНСС-измерений, в первую очередь для изучения деформации земной коры. Программное обеспечение было разработано Массачусетским технологическим институтом, Океанографическим институтом Скриппса и Гарвардским университетом.

Данные измерений доступны в виде RINEX-файлов (Receiver Independent Exchange Format), содержащих фазовые и кодовые измерения, с помощью которых определяются координаты базовых станций с шагом 30 с по времени. Перед запуском обработки результатов измерений необходимо сделать модификации следующих файлов ПО GAMIT/GLOBK: 1) указать в файле sites.default, какие глобальные IGS-станции (IGS — International GNSS System) будут включены в обработку; 2) указать в файле station.info серийные номера и модели антенн и приемников, а также информацию об их изменениях; 3) указать в .apr-файле априорные координаты станций. Затем запустить скрипт sh_gamit для получения ковариационных матриц. Заключительным этапом обработки в нашем случае считается запуск скрипта sh_glred для получения временных рядов. С помощью этих временных рядов оценивается вековой тренд движения станций, а также амплитуды и периоды колебаний координат станций.

Изложение и обсуждение результатов

В результате обработки были получены временные ряды для 2022 и 2023 гг. На основе этих данных можно сделать вывод, что амплитуды колебаний координат в 2022 и 2023 гг. отличаются слабо. Плановые координаты изменяются в пределах от 2 до 8 мм в направлениях север—юг и восток—запад (рис. 1). Амплитуды колебаний по высоте составляют от 10 до 15 мм (рис. 2). Периоды колебаний в среднем равны 10—15 суток по каждой из трех координат.

По двухгодичным временным рядам (рис. 3) четко выделяется вековой тренд. У графиков северного и восточного направлений положительный угол наклона, следовательно, результаты измерений подтверждают известный вывод, что общее смещение земной коры на Урале происходит в северо-восточном направлении.

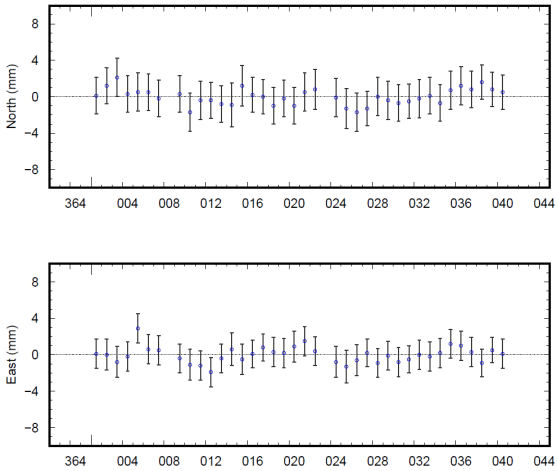

Рис. 1. Колебания координат базовой станции в Алапаевске по направлениям север—юг и восток—запад в начале 2022 г. По оси абсцисс отложены порядковые номера дней в году

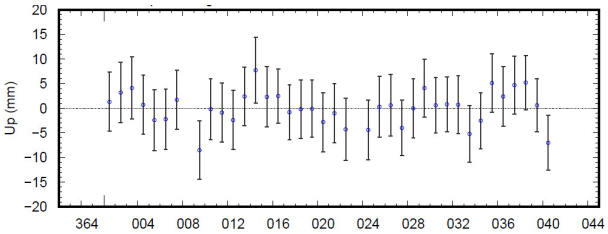

Рис. 2. Колебания координат базовой станции в Алапаевске в вертикальном направлении в начале 2022 г. По оси абсцисс отложены порядковые номера дней в году

На точность оценки смещений координат базовых станций влияют условия внешней среды и в первую очередь состояние ионосферы. На рис. 4 цифрами 1 и 2 обозначены существенные изменения оценки высоты станции, которые коррелируют с высоким уровнем солнечного излучения на длине волны 10.7 см (показатель $F_{10.7}$).

Заключение

В ходе проведения исследования движения десяти долговременных базовых ГНСС-станций выявлено, что:

1) по результатам обработки измерений подтвержден вывод о смещении коры в районе Урала в северо-восточном направлении, что подтверждает достоверность получаемых результатов. Это позволит в дальнейшем выполнить исследование региональных геодинамических смещений пунктов;

2) на годичном интервале времени выявлены периодические изменения координат станций по направлениям север–юг, восток–запад и по высоте, которые могут быть связаны с сезонными колебаниями положений станций (промерзание и оттаивание грунта и т. п.);

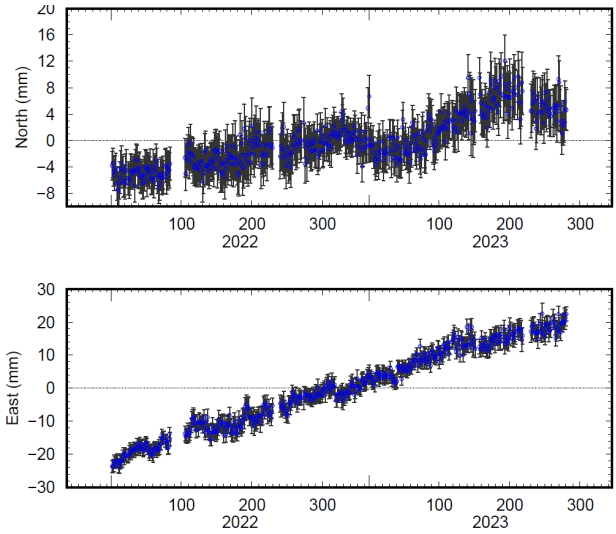

Рис. 3. Вековое смещение в северном и восточном направлениях базовой станции в Березниках

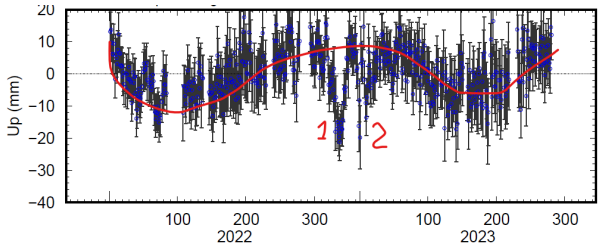

Рис. 4. Смещения по высоте базовой станции в Алапаевске. Цифрами 1 и 2 отмечены результаты измерений во время геомагнитных бурь

3) на двухгодичном интервале отчетливо проявляется вековой тренд координат;

4) короткопериодические вариации координат станций могут быть связаны как с естественными геодинамическими причинами (например, небольшими землетрясениями, горными ударами и т. п.), так и с влиянием внешней среды (возмущения ионосферы, связанные с активностью Солнца, и др.).

В дальнейшем планируется выполнить исследование относительных смещений станций сети с целью выявления признаков локальных движений земной коры на Урале.

Авторы благодарят АО «ПРИН» за предоставленный доступ к данным сети постоянно действующих базовых станций.

Библиографические ссылки

[1] *Кащеев Р. А., Бахтияров В. Ф., Загретдинов Р. В., Комаров Р. В.* О некоторых результатах и перспективах применения спутниковых технологий для геодинамического мониторинга движений земной коры на территории Республики Татарстан // Учен. зап. Казан. ун-та. — 2010. — Т. 7. — С. 33—40.