

УДК 528.088.3

Е.С. Богданец, А.Р. Зырянов

E.S. Bogdanets, A.R. Zyryanov

Пермский национальный исследовательский политехнический университет

Perm National Research Polytechnic University

**АНАЛИЗ ТОЧНОСТИ ОНЛАЙН-СЕРВИСОВ
ПОСТОБРАБОТКИ GNSS-ДАнных ПРИ РАЗЛИЧНЫХ
ИНТЕРВАЛАХ НАБЛЮДЕНИЙ**

**ACCURACY ANALYSIS OF ONLINE GNSS PROCESSING
SERVICES FOR DIFFERENT MEASUREMENT INTERVAL**

Рассмотрены бесплатные онлайн-сервисы постобработки GNSS-данных, позволяющие оперативно получать координаты базовых станций (БС). Рассчитаны среднеквадратические погрешности (СКП) определения координат БС. Проанализирована зависимость между СКП определения координат X , Y , Z и времени измерений. Определен наиболее точный онлайн-сервис постобработки GNSS-данных при уменьшении интервала измерений.

Ключевые слова: спутниковые технологии, онлайн-сервис, постобработка, GNSS-данные.

In this paper free online postprocessing services for GNSS data are considered. These services allow getting base station (BS) coordinates operatively. Root sum square uncertainty of BS coordinates is estimated. The relation between root sum square uncertainty of BS coordinates (X , Y , Z) and measurement time is analyzed. As the result, the most precise online postprocessing service for GNSS data is determined within measurement time decreasing.

Keywords: satellite technology, online-service, postprocessing, GNSS data.

На сегодняшний день позиционирование посредством спутниковых систем широко применяется в различных областях жизнедеятельности человека. Основой данного метода является глобальная навигационная спутниковая система (Global Navigational Satellite System – GNSS), которая сформирована на основе двух разработок: американской – GPS и советской – GLONASS. Совместное применение зарубежной и отечественной разработок позволяет решать множество инженерных задач.

Несмотря на то что изначально спутниковый метод позиционирования был создан для решения вопросов обороны и безопасности, сейчас его используют практически во всех отраслях экономики: транспорте, сельском хозяйстве, энергетике, персональной навигации, строительстве, геодезии, картографии, землеустройстве и др.

Совершенствование спутниковых технологий позволило применять данную систему для решения высокоточных задач в области горной и нефтяной промышленности, например для создания геодинамических полигонов на месторождениях углеводородов для наблюдений за оседаниями и деформациями земной поверхности, а также в области фундаментальных наук о Земле для наблюдений за движением тектонических плит, вулканической активностью и т.д. [1, с. 202].

Важно отметить, что навигационное сообщение, которое получает приемник, не передает как таковые координаты определяемой точки, однако сообщение содержит в себе следующие данные: альманах, эфемериды спутника, поправку часов спутника относительно времени системы и коэффициенты для учета влияния атмосферы при выполнении одночастотных измерений, которые в дальнейшем используются для точного вычисления местоположения объекта. Для этого применяют систему постобработки.

На сегодняшний день на рынке существует несколько бесплатных онлайн-сервисов постобработки, которые имеют свои особенности при использовании и отличаются точностью определения конечных координат. Таким образом, актуальным является выбор наиболее точного и оптимального онлайн-сервиса для постобработки GNSS-данных.

На основе ранее выполненных исследований, представленных в научной статье «Анализ точности онлайн-сервисов постобработки GNSS-данных» [2, с. 5], для анализа были выбраны три наиболее точные онлайн-сервисы: AUSPOS (Geoscience Australia Online GPS Processing Service), APPS (Automatic Precise Positioning Service), CSRS-PPP (Canadian Spatial Reference System Precise Point Positioning Service). Отметим, что все выбранные сервисы являются зарубежными разработками, что свидетельствует о значительном прогрессе заграничных технологий в области постобработки спутниковых данных.

В свою очередь, на конечный результат, т.е. определение местоположения, влияют два основных фактора: процесс обработки данных (алгоритм, математическая модель) и точность исходных GNSS-данных.

Общим для данных онлайн-сервисов является то, что результаты обработки приходят на электронную почту пользователя, а их особенности представлены в табл. 1.

В табл. 1 можно увидеть, что каждый из сервисов имеет свои особенности. В свою очередь, при относительном решении искомые координаты станции получаются в результате решения векторов от IGS-сети, а при абсолютном (PPP) используются данные орбит и часов.

В рамках данного исследования для выполнения постобработки исходными данными являются GNSS-измерения за 161 и 171 (т.е. 10 и 20 июля 2015 г. соответственно) GNSS-сутки двенадцати постоянно действующих базовых

Таблица 1

Характеристика выбранных онлайн-сервисов постобработки GNSS-данных

Название	APPS	AUSPOS	CSRS-PPP
Веб-сайт	http://apps.gdgps.net/apps_file_upload.php	http://www.ga.gov.au/bin/gps.pl	http://webapp.geod.nrcan.gc.ca/geod/ools-outils/ppp.php
Метод решения	Абсолютный (Precise Point Positioning)	Относительный (Relative)	Абсолютный (PPP)
Режим обработки данных	Статика, кинематика	Статика	Статика, кинематика
Время обработки данных одной станции	2–5 мин	Суточные данные до 15–20 мин	1–2 мин
Приемник	Двухчастотный	Двухчастотный	Одно- или двухчастотный
ПО	GIPSY-OASIS v6.3	Bernese GNS	CSRS-PPP
Ограничения по длине набора данных	Max – 10 Мб	Min – 1 ч, max – 24 ч	–
Поддерживаемые файлы данных	RINEX	RINEX, Hatanka, zip, gz, p, pkzip	RINEX, zip, gz, gz, z
Способ передачи данных	WWW, FTP (юр. лицам)	WWW, FTP	WWW
Результаты представлены в следующей системе координат	ITRF 2008	GDA94, ITRF2008	NAD83, ITRF2008
Необходимость регистрации	Да	Нет	Да

станций (БС) в формате ITRF. Эти станции объединены в геодезическую сеть специального назначения (GNSS-сеть), расположенную на территории месторождения углеводородов в Западной Сибири. Эта сеть была создана в 2012 г. для создания единой геодезической основы на месторождении. Схема расположения БС представлена на рис. 1.

Для выбора наиболее точного сервиса необходимо проанализировать значение средней квадратической погрешности (СКП) определения местоположения базовой станции. При этом величина СКП определяется для различных по времени сеансов наблюдений. В рамках данного исследования для задания интервалов необходимо учесть следующее: во-первых, количество спутников на орбите должно быть не менее пяти; во-вторых, суммарное геометрическое снижение точности по местоположению и времени (GDOP) должно быть не более двух.

Отметим, что GNSS-сутки включают в себя 24-часовой интервал наблюдений. Тогда в пределах 24-часового интервала измерений был выявлен

12-часовой интервал, удовлетворяющий заданным выше условиям. Далее аналогично были определены еще три сеанса наблюдений с последующим уменьшением исходного интервала в 2 раза, т.е. 6-, 3- и 1-часовой сеансы.

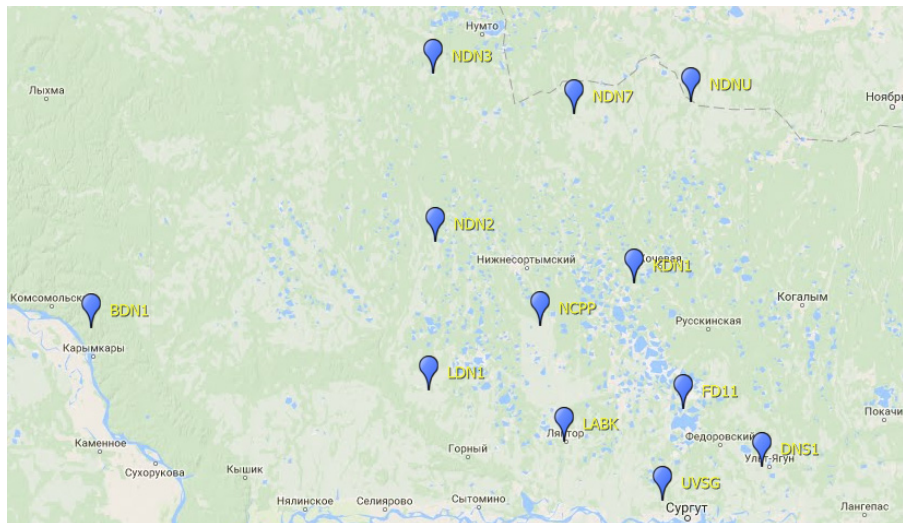


Рис. 1. Схема расположения БС

Выбор интервалов измерений осуществлялся с помощью онлайн-сервиса GNSS Planning Online (<http://www.trimble.com/GNSSPlanningOnline/#>), предоставляемого компанией Trimble, в котором представлена информация о прогнозируемом количестве спутников, значении DOP, и с помощью программы Rіnеx_Vіеwеr, предоставляемой фирмой JAVAD, в которой отображаются фактические измерения. В свою очередь, для создания RINEX-файлов с заданным интервалом времени использовалось приложение UNAVCO TEQ Editor.

Таким образом, сопоставляя имеющиеся данные двух программ и учитывая два выдвинутых условия, из 24-часовых интервалов наблюдений было предложено к анализу пять интервалов GNSS-наблюдений: 1-, 3-, 6-, 12- и собственно 24-часовой сеансы.

Для каждого интервала времени была определена СКП положения БС за 161 и 171 GNSS-сутки на трех онлайн-сервисах: AUSPOS, CSRS-PPP, APPS. В качестве эталонного положения БС было принято положение в результате обработки трехсуточных GNSS-данных для каждой БС (за 160, 161, 162 и 170, 171, 172 сутки соответственно) с помощью сервиса AUSPOS. Данный сервис был выбран в качестве исходного на основе исследований источника [3]. Результаты математической обработки представлены в табл. 2.

Таблица 2

Полученные значения СКП по координатам X, Y, Z

Сервис	AUSPOS			CSRS-PPP			APPS		
	СКП, мм								
Время, ч	X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z
1	56,6	40,2	62,3	10,6	19,9	17,4	16,5	8,7	22,6
3	2,1	4,3	9,6	3,2	7,2	8,9	2,5	5,5	15,9
6	1,4	1,8	5,0	2,1	4,3	5,5	2,3	3,9	10,6
12	1,4	1,5	3,2	2,2	2,3	4,0	2,1	3,3	7,9
24	1,2	1,3	2,3	2,0	2,0	3,1	1,6	2,0	5,2

Из табл. 2 видно, что при увеличении интервала наблюдений СКП определения координат БС уменьшается. Кроме этого, были построены графики изменения СКП для каждой координаты (X, Y, Z) от времени измерения (рис. 2–4).

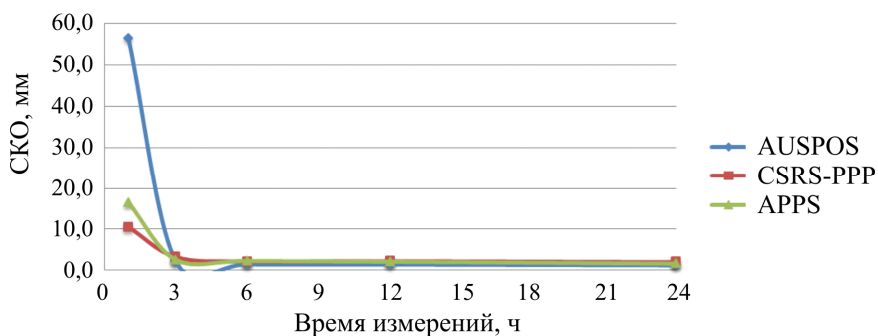


Рис. 2. Зависимость погрешности определения координаты X от времени измерений для рассмотренных онлайн-сервисов

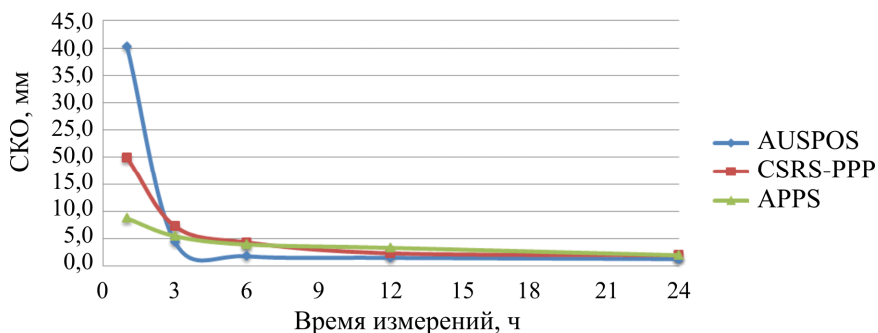


Рис. 3. Зависимость погрешности определения координаты Y от времени измерений для рассмотренных онлайн-сервисов

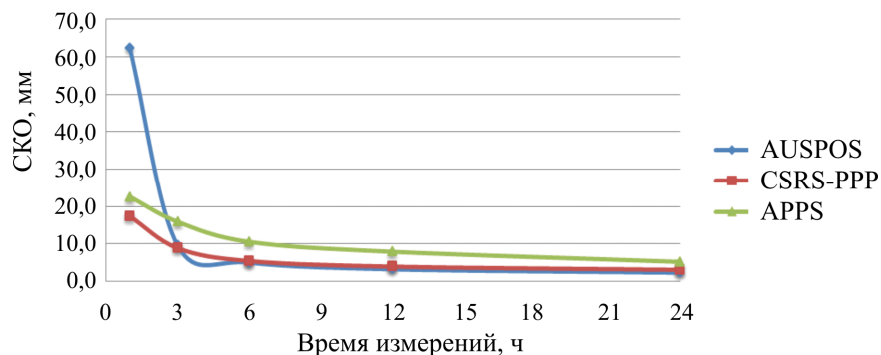


Рис. 4. Зависимость погрешности определения координаты Z от времени измерений для рассмотренных онлайн-сервисов

На рис. 2–4 видно, что при часовом сеансе наблюдений прослеживается самая низкая точность, следовательно, такой продолжительности наблюдений недостаточно для точного позиционирования. Кроме этого, при часовом сеансе наблюдений можно увидеть, что СКП определения координат с помощью онлайн-сервиса AUSPOS, использующего относительный метод решения, в 2–3 раза больше СКП двух других предложенных к анализу сервисов, использующих точный метод решения. Далее была произведена оценка пространственной погрешности (3D) каждого сервиса от времени измерения (рис. 5).

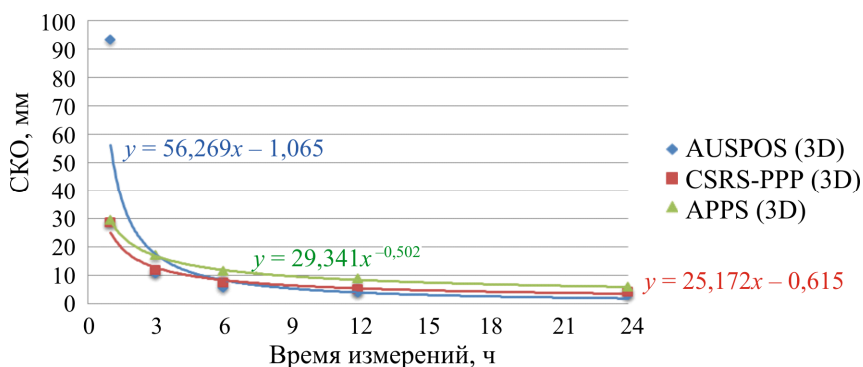


Рис. 5. Зависимость пространственной погрешности (3D) от времени измерения

На рис. 5 видно, что в интервале времени с 1 до 6 ч наиболее точным сервисом постобработки GNSS-данных является CSRS-PPP, а в интервале с 6 до 24 ч – AUSPOS. Сервис же APPS занимает средние значения точности. Следовательно, определим положение точки пересечения двух линий тренда (AUSPOS и CRS-PPP), решив уравнение

$$56,269x^{-1,065} = 25,172x^{-0,615}.$$

Тогда $x = 5,98$; $y = 8,38$.

По результатам вычислений можно сделать вывод о том, что при сеансе наблюдений от 1 до 5 ч 59 мин лучше использовать канадский сервис CSRS-PPP, а свыше 5 ч 59 мин – сервис AUSPOS.

Список литературы

1. Wang G. Teaching high-accuracy Global Positioning System to undergraduates using online processing services // Journal of Geoscience Education. – 2013. – № 61. – P. 202–212.
2. Технические науки – от теории к практике: сб. ст. по материалам LXVI Междунар. науч.-практ. конф. – Новосибирск: Изд-во АНС «СибАК», 2017. – № 1(61).
3. Ocalan T., Erdogan B., Tunalioglu N. Analysis of web-based online services for GPS relative and precise point positioning techniques // Boletim de Ciencias Geodesicas. – 2013. – № 2. – P. 191–207.

Получено 10.10.2017

Богданец Евгений Сергеевич – старший преподаватель, горно-нефтяной факультет, Пермский национальный исследовательский политехнический университет, e-mail: 59ru@inbox.ru.

Зырянов Алексей Русланович – студент, горно-нефтяной факультет, Пермский национальный исследовательский политехнический университет, e-mail: zyuhanov-ar@mail.ru.