

Анализ развития пространственных систем отсчёта, функционирующих в Армении, на примере польского опыта. Приложение 09

Проект: Разработка основных положений и технических рекомендаций, касающихся модернизации и актуализации топографических баз данных, создания картографических материалов, систем пространственных координат и стандартизации геодезических разработок в Армении 13/2014/ADM2014

ГЛАВНОЕ УПРАВЛЕНИЕ ГЕОДЕЗИИ И КАРТОГРАФИИ

30 grudnia 2014

Авторы М. Рычывольски



польская помощь



польская помощь

**Проект: Разработка основных положений и технических рекомендаций, касающихся модернизации и актуализации топографических баз данных, создания картографических материалов, систем пространственных координат и стандартизации геодезических разработок в Армении
13/2014/ADM2014**

Проект софинансирован Министерством иностранных дел Республики Польша в рамках программы польского сотрудничества в целях развития.

Содержание

ВВЕДЕНИЕ	3
ГОСУДАРСТВЕННАЯ СИСТЕМА ПРОСТРАНСТВЕННОГО ОТСЧЁТА В ПОЛЬШЕ.	4
МЕЖДУНАРОДНЫЙ КОНТЕКСТ	7
МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНАЯ ГЕОДЕЗИЧЕСКАЯ ОСНОВА	9
МОНИТОРИНГ СИСТЕМЫ ОТСЧЁТА	10
СИСТЕМА ОТСЧЁТА ARMREF02	11
ПОДВЕДЕНИЕ ИТОГА.....	13
СЛОВАРЬ СОКРАЩЕНИЙ	14
БИБЛИОГРАФИЯ	15

Введение

Развитие спутниковых систем навигации GNSS несомненно содействовало развитию современной геодезии. Благодаря своему потенциалу их использование полностью подчинило своему влиянию все аспекты, связанные с установкой и содержанием в рабочем состоянии национальных геодезических систем отсчёта. Со временем периодические измерения на геодезических пунктах, формирующих геодезическую сеть, были заменены сетями перманентных референчных станций CORS, которые стали новым типом геодезической основы и геодезической сети. Произошло также изменение парадигмы системы отсчёта, от плоских систем регионального или национального характера в направлении международных и мировых геоцентрических пространственных систем.

Благодаря глобальному характеру и технологическим возможностям, одновременно с развитием систем GNSS, создавались разные организации, работающие над использованием систем GNSS в целях исследования Земли. Способствовали они распространению, а благодаря своей деятельности и научному сотрудничеству - повышению точности спутниковых измерений. Изначально доступ к данным обеспечивали, в основном, научные учреждения, находящиеся в разных частях света. В настоящий момент сотрудничать с такими организациями стремятся разного рода фирмы и учреждения коммерческого и государственного уровня. Такое сотрудничество часто воспринимается как престижное, учитывая важное влияние на современную геодезию и технологическое развитие.

В контексте данного анализа к таким организациям можно несомненно отнести:

- Международную службу вращения Земли и систем отсчёта - IERS, которая в своей деятельности отвечает, в частности, за определение глобальной системы координат ITRS, а также её реализацию (<http://www.iers.org/>);
- Международную службу GNSS - IGS, которая кроме реализации глобальной системы координат IGS, в частности предоставляет, так называемые, продукты GNSS в виде точных навигационных орбит, модели часов спутников, модели атмосферы (<http://www.igs.org/>);
- Европейскую сеть референчных станций - EPN, которая отвечает за определение Европейской системы координат ETRS89 и её связь с глобальными системами ITRF(<http://www.epncb.oma.be/>).

На примере Польши, геодезия в течение последних 20 лет прошла основательную трансформацию в подходе к геодезическим системам отсчёта. Использование технологии GNSS стало повсеместным инструментом в практике геодезиста. Кроме технологических изменений в стране были введены также новые правила, регулирующие аспекты Государственной системы пространственного отсчёта, геодезических основ, а также геодезических измерений.

Государственная система пространственного отсчёта в Польше.

Чтобы понять генезис принятого решения относительно Государственной системы координат – пространственной системы отсчёта в Польше, необходимо проанализировать ранее функционирующую систему координат EUREF89.

Реализация этой системы приходится на 1992 - 1995 годы, в течение которых были организованы две главные измерительные кампании, проведенные на специально подготовленных для этого наземных пунктах. Первая кампания, в мае 1992 года, была частью международной кампании во время которой было измерены и определены координаты 30 пунктов, расположенных в Восточной Европе. 11 из этих пунктов находились на территории Польши и получили название сети EUREF-POL, представляющей собой фундаментальную основу (нулевой ряд сети). Координаты этих пунктов были определены в системе ITRF91 и в системе EUREF89, являющейся аналогом реализации системы ETRS89. В 1994 г и в 1995 г. была проведена очередная измерительная кампания, целью которой было сгущение системы EUREF89 с помощью 359 пунктов, расположенных равномерно на территории всей страны. Координаты пунктов были определены в системах ITRF92, ITRF93, а также в системе EUREF89. Новая сеть - POLREF, сделала возможным перенесение системы EUREF89 на территорию всей страны. Будучи более доступной, она одновременно была базой для дальнейшего сгущения и переноса системы на сети низших рядов. Так возникшая система EUREF89 стала базовой системой отсчёта в Польше (EUREF89 не была пространственной системой, была системой реализованной на эллипсоиде, без учёта компонента высоты).

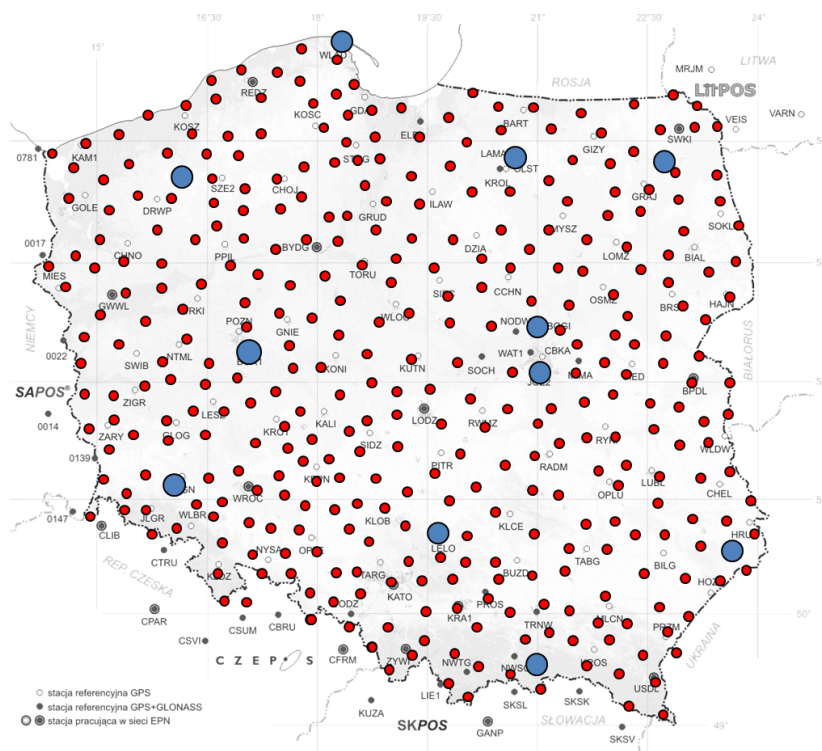


Рис. 1. Размещение пунктов EUREF-POL (синий цвет) и POLREF (красный цвет)

В июне 2008 года в Польше была создана сеть референчных станций ASG-EUPOS. Одновременно с ее созданием, были предприняты действия с целью определения функционирующей тогда реализации референчной системы ETRS89, то есть системы ETRF2000 и её связи к функционирующей системой EUREF89. В 2008-2011 годах была проведена масштабная измерительная кампания: измерения коснулись всех пунктов сети EUREF-POL, POLREF, а также референчных станций сети ASG-EUPOS. Окончательно координаты пунктов были выражены в системе ITRF2005 и PL-ETRF2000 (базирующейся на реализации ETRF2000 на эпоху 2011.0).

Проведенный анализ показал расхождения между новой системой PL-ETRF2000 и старой реализацией EUREF89. Характер расхождений представлен на рис. 3. Главная причина возникших отличий - ограниченная точность системы ITRF91, являющейся канвой для системы ETRS89. Одновременно в процессе проведенных мероприятий система ITRF дважды подвергалась редефинированию. Сравнения высотной составляющей не были важны, из-за характера системы EUREF89.

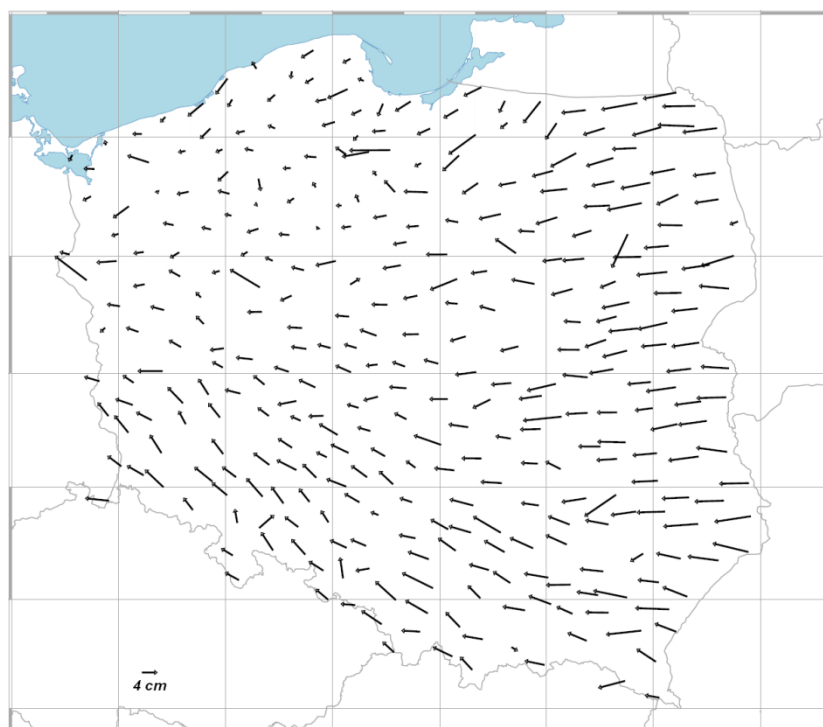


Рис. 2. Расхождения горизонтальных координат между системой EUREF89 и PL-ETRF2000

Следует отметить, что несмотря на технические и технологические ограничения приходящиеся на годы реализации системы EUREF89, эта сеть была реализована с высокой точностью, доказательством чему малые погрешности (residuum), на уровне миллиметров, после выполнения трансформации между системой PL-ETRF2000 и EUREF89 (для горизонтальных составных). Несмотря на это поддержание системы EUREF89 требовало бы выполнения трансформации для осуществляемых измерений GNSS. Дополнительно система PL-ETRF2000 был тогда и сейчас самой новой

реализацией системы ETRS89, которая является конвенциональной системой сети EPN (в настоящий момент нет планов введения новых реализаций в ITRF2005, ITRF2008 и скоро ITRF2013, несмотря на изменения глобальной системы). Следует также напомнить, что EUREF89 по своему определению не была пространственной системой.

Решением Главного управления геодезии и картографии в 2012 году была принята новая система отсчёта PL-ETRF2000. Старые сети EUREF-POL, POLREF получили новые координаты. Вслед за этим изменением были введены также изменения в законодательстве:

- *Распоряжение Министра администрации и цифризации от 14 февраля 2012 г. относительно геодезических, гравиметрических и магнетических основ* ввело новое разделение геодезических основ и новую классификацию пунктов основ. Главным изменением является введение референчных станций в качестве пунктов базовой основы;
- *Распоряжение Совета Министров от 15 октября 2012 г. относительно государственной системы пространственного отсчёта* ввело новую систему отсчёта PL-ETRF2000 в качестве базовой системы, ответственной за перенос системы ETRF2000 на территорию Польши. Отношения с системой EUREF89 чётко определены параметрами и моделями трансформации.
- *Распоряжение Министра внутренних дел и администрации от 9 ноября 2011 г. относительно технических стандартов выполнения геодезических ситуативных и высотных измерений и разработки и передачи результатов этих измерений в государственный геодезический и картографический фонд* ввело в законодательную базу технологию измерений GNSS (статичных измерений, RTK и NRTK) в качестве полноправной, наряду с ранее применяемыми классическими методами.

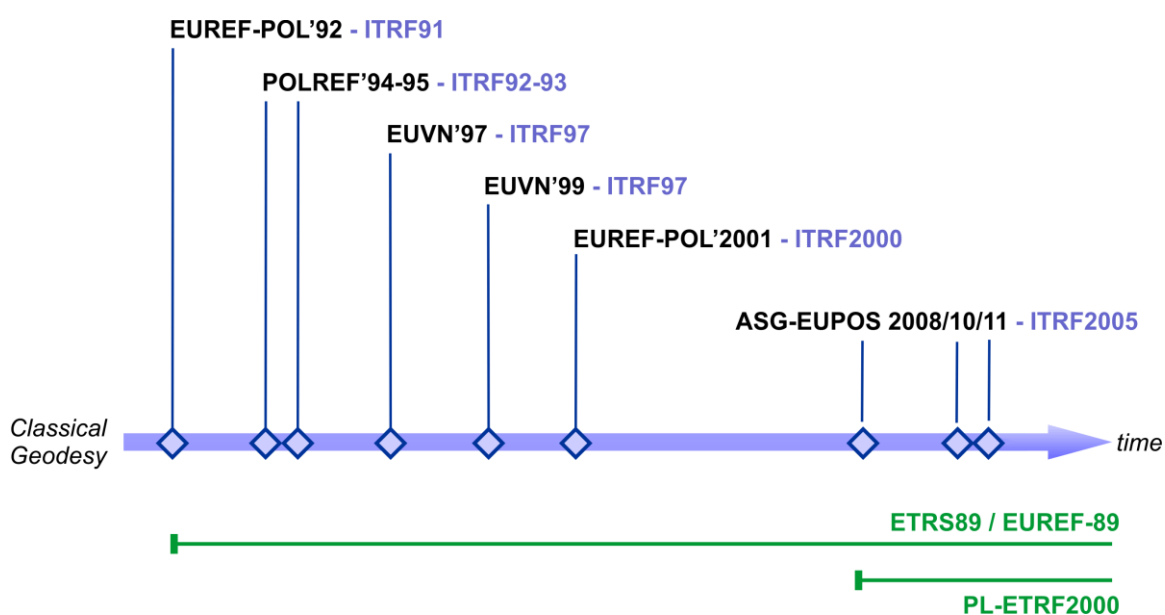


Рис. 3. Измерительные кампании GNSS в Польше.



В качестве дополнительной информации об измерительных кампаниях, можно еще вспомнить о двух кампаниях, в 1997г. и 1999 г. во время которых в Польше, были основаны пункты Европейской высотной системы EUVN. Эта система была реализована в два этапа, сначала 10 главных пунктов а потом их сгущение до 62 пунктов. Сеть EUVN должна в будущем помочь унификации высотных систем в европейских странах, а также быть частью основы для европейской реализации геоида. В контексте уже существующих сетей, эти пункты могут рассматриваться как расширение сети POLREF. Были они также включены в измерительной кампании, касающейся системы PL-ETRF2000. До 2020 г Польша намеревается ввести высотную систему отсчёта от мареографа в Амстердаме (Normal Amsterdam's Peil), то есть пункта привязки (отсчёта) для сети EUVN.

Международный контекст

Подобно как в случае реализации системы EUREF89, реализация системы PL-ETRF2000 не состоялась бы без включения в уравнивание наблюдений из сети EPN. Станции, включённые в реализацию европейской системы отсчёта, обладают координатами, вместе с векторами скорости, определенными в действующих системах, ITRFyy и ETRFyy. Их использование позволяет определить координаты на заданную эпоху выполнения измерений, проведение принципиального уравнивания в системе ITRFyy (здесь ITRF2005) и трансформацию результатов в систему ETRFyy (здесь ETRF2000).

В процессе построения системы ASG-EUPOS, кроме использования уже существующих референчных станций научных учреждений (сотрудничающих с сетями IGS и EPN) путём включения их в сеть, решено включить дополнительные станции в сеть EPN. Их размещение переставлено на рис 4. В настоящий момент распределение сети EPN на территории Польши позволяет на хорошую привязку измерений, хотя согласно практике и рекомендациям EPN в такое решение включаются также зарубежные станции, находящиеся по соседству сети ASG-EUPOS (их выбор в качестве станции привязки зависит от классификации EPN, а также анализа долгосрочных временных рядов). В контексте законоположений, станции за пределами страны не являются геодезической базой, но используются для контроля корректности реализации ETRF2000 системы ETRS89.

Рис. 4 дополнительно представляет референчные станции зарубежных систем, которые включены в разработку сети. Не смотря на то, что зарубежные пункты, как и в случае сети IGS/EPN не являются польской геодезической основой, их использование необходимо с точки зрения контроля соответствия систем отсчёта с системами соседних стран, согласования границ, а также реализации сервисов аугментации измерений NRTK в пограничных зонах. Обмен данными и информацией с соседними странами осуществляется на основании отдельных международных соглашений, заключаемых с каждым из соседей.

Долевое участие в заданиях, которые ставят перед собой службы IGS и EPN обосновано в контексте перехода к использованию спутниковых технологий. Переход к глобальной/континентальной унификации систем отсчёта (геодезических и высотных) обоснован не только с экономической точки зрения, но также из-за характера и доступности современных измерительных технологий. Функционирующие в прошлом ограничения, связанные с тайностью систем отсчёта, теперь перестали иметь значение.

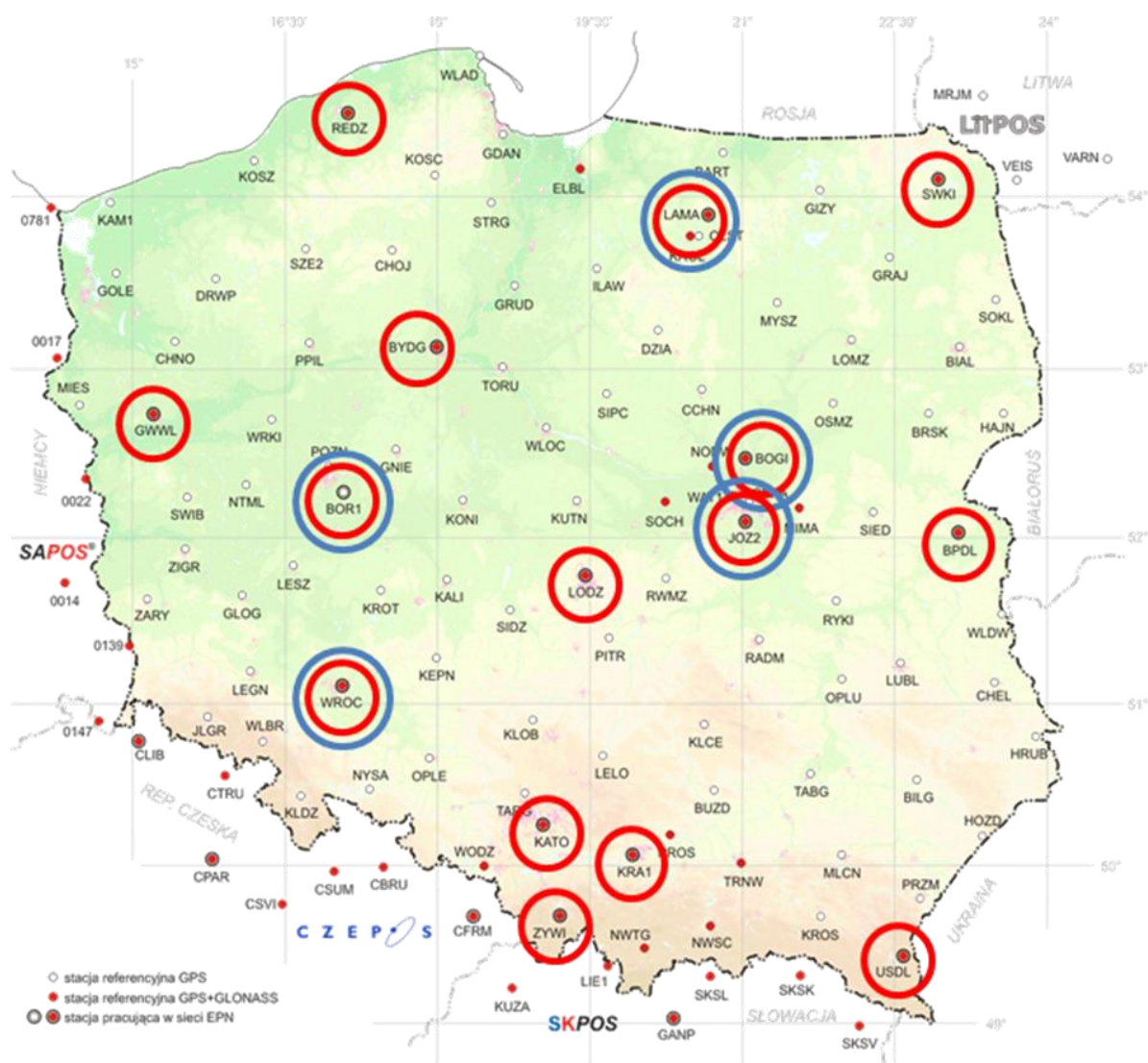


Рис. 4.Референсные станции системы ASG-EUPOS, включённые в сеть IGS (синий цвет) и EPN (красные цвет).

Многофункциональная геодезическая основа

Вместе с созданием сети ASG-EUPOS и введением новых юридических решений, в Польше введено новое разделение геодезических основ. Выделено три основных класса основы:

- Основная фундаментальная - в состав этого типа основы входят исключительно референчные станции системы ASG-EUPOS, которые были включены в сеть EPN; ролью этих станций является перенос европейской системы как PL-ETRF2000;
- Основная базовая - в состав этого типа основы входят, в основном, остальные референчные станции системы ASG-EUPOS, а также пункты сети EUREF-POL, POLREF, EUVN; ролью этих пунктов является сгущение системы PL-ETRF2000;
- Детальная - в состав этой основы вошли пункты основ низших классов, являющихся сгущением сети POLREF, выполняющих заданные критерии точности для этого типа основы.

Дополнительным пунктом основы, включенным в эту классификацию в качестве основной базовой основы, являются, так называемые, эксцентрические пункты референчных станций ASG-EUPOS. Эти пункты возникли с целью соединения разных измерительных техник, интеграция которых не возможна для типичного монтажа референчных станций. Эксцентрические пункты были заложены в процессе измерительной кампании системы отсчёта PL-ETRF2000 и были включены в проведенное уравнивание. Эти пункты находились на близком расстоянии от референчной станции, максимально до 1.5 км, как хорошо закреплённые наземные пункты. Референчную станцию можно интерпретировать как комплекс пунктов: референчная станция, эксцентр и направляющий пункт (в случае станций, включенных в EPN, вместо направляющего пункта - дополнительный эксцентр). Их пригодность заключается в возможности выполнения на них дополнительных измерений, то есть прецизионного нивелирования и гравиметрических измерений. Проведение нивелирования позволило определить нормальную высоту (в действующей высотной системе Кронштадт 86), а потом определить высоту для пунктов референчных станций с помощью спутникового нивелирования (небольшое расстояние не влечет за собой большого ухудшения точности относительно выполненного точного нивелирования). Гравиметрические измерения, из-за размещения некоторых референчных станций на сильно урбанизированных территориях, не возможно провести или нет смысла в их проведении. Большинство эксцентрических пунктов обладает хорошими условиями для измерений и с успехом включено в гравиметрическую основу.



Рис. 5. Пример локализации эксцентрических пунктов для станции KROS

Мониторинг системы отсчёта

Преимуществом перманентных референсных станций является возможность контроля их стабильности, путём непрерывной обработки измерительных данных. На примере сети ASG-EUPOS такой контроль осуществляется на разных уровнях:

1. Наблюдения, включенные в сеть EPN и IGS, обрабатываются центрами анализ этих организаций. Путём включения станций создаётся континентальное решение реализации системы ETRS89. Координаты используются в дальнейшем процессе мониторинга в качестве пунктов привязки.
2. Наблюдения со всех референсных станций обрабатываются и уравниваются в рамках мониторинга, осуществляемого в центре управления системой ASG-EUPOS (в Главном управлении геодезии и картографии). Эта работа заключается в проведении уравнивания сети для каждого дня наблюдения, а также анализа координат относительно каталожных координат. Целью такой обработки является также возможность создания долгосрочного решения, на основании которого могут быть определены и контролироваться векторы скорости референсных станций. Для обработки наблюдений используется программное обеспечение Bernese GNSS Software.
3. Альтернативное решение дополнительно реализуется одной из польских научных единиц Центра прикладной геоматики Военной технической академии.

Это решение должно обеспечить взаимный контроль результатов и вычислительного процесса.

4. Результаты вышеупомянутых решений в формате SINEX, передаются в вычислительный центр EUPOS Combination Centre, где происходит их объединение вместе с результатами других государств. Осуществляется общее уравнивание континентального радиуса действия. Это решение позволяет сделать верификацию получаемых результатов относительно континентального решения. В отличие от решения EPN, эта сеть намного гуще и содержит результаты для всех станций системы ASG-EUPOS.

Анализ результатов вышеупомянутых решений позволяет исследовать стабильность применяемой системы PL-ETRF2000. В настоящий момент приняты критерии, согласно которым, разница между координатами актуальных измерений и каталожными координатам не должна превышать 10 мм - для горизонтальных составных и 20 мм - для вертикальной составной. В случае превышения этих лимитов, после определения повода расхождений, каталожные координаты должны быть актуализированы.

Система отсчёта ARMREF02

ARMREF02 является геодезической системой координат, разработанной для Армении в 2002 г. Эта система была реализована путём уравнивания спутниковых наблюдений в системе ITRF2000 на эпоху 2002.9 проведенного для 4 пунктов геодезической основы нулевого ряда, а также одной референцной станции NSSP, включенной тогда в сеть IGS (хоть не в полной мере оперативной в ходе измерительной кампании). Окончательные результаты были трансформированы в систему ETRS89 на эту же эпоху наблюдения. В настоящий момент, согласно информации на сайте службы IGS, эта станция неактивна с 2012 г. Согласно информации на сайте EPN, эта станция имеет статус бывшей.

В составе геодезической основы мы можем выделить 3 классы пунктов:

- 4 пункта основы нулевого ряда,
- 41 пунктов основы 1 класса,
- 720 пунктов основы 2 класса,

Каждый из классов представляет собой очередное сгущение системы ARMREF02.

К концу 2013 года в Армении должна была быть создана система референцных станций, основанная на 12 референцных станциях. В качестве системы отсчёта должна была остаться система ARMREF02. Армения планирует внедрить систему отсчёта, базирующуюся на системе ETRS89. В настоящий момент, исходя из концепции поддержания системы ARMREF02, принята более ранняя реализация, чем ETRF2000. Вероятно в результате внедрения новой сети, Армения обладает также самой новой реализацией системы ETRF2000 на эпоху, приближенную к концу 2013 г. К сожалению, из-за ограниченной информации, не известно как выглядит ситуация теперь и какие отношения нового решения с действующей системой ARMREF02.

Ситуация Армении в контексте сети IGS/EPN отличается от польской ситуации. Сгущение станций IGS дает ограниченные возможности реализации привязки, зато сгущение сети EPN ограничивается к станциям, расположенным на севере и западе Армении. Тем не менее, уравнивание может быть проведено с привязкой к станциям IGS, а потом пересчитано согласно официальным параметрам трансформации в систему ETRF2000 или ARMREF02. Дополнительной проблемой станций, которые находятся в этом районе, является прерывность референчных станций IGS, некоторые из них перестали быть функциональными в 2012 г., неизвестно каким будет их будущее. В связи с созданием новой сети, стоит подумать над включением выбранных армянских станций в структуру сети IGS и EPN. Станции этого района оборудованы новыми приемопередатчиками GNSS и будут весьма полезны.

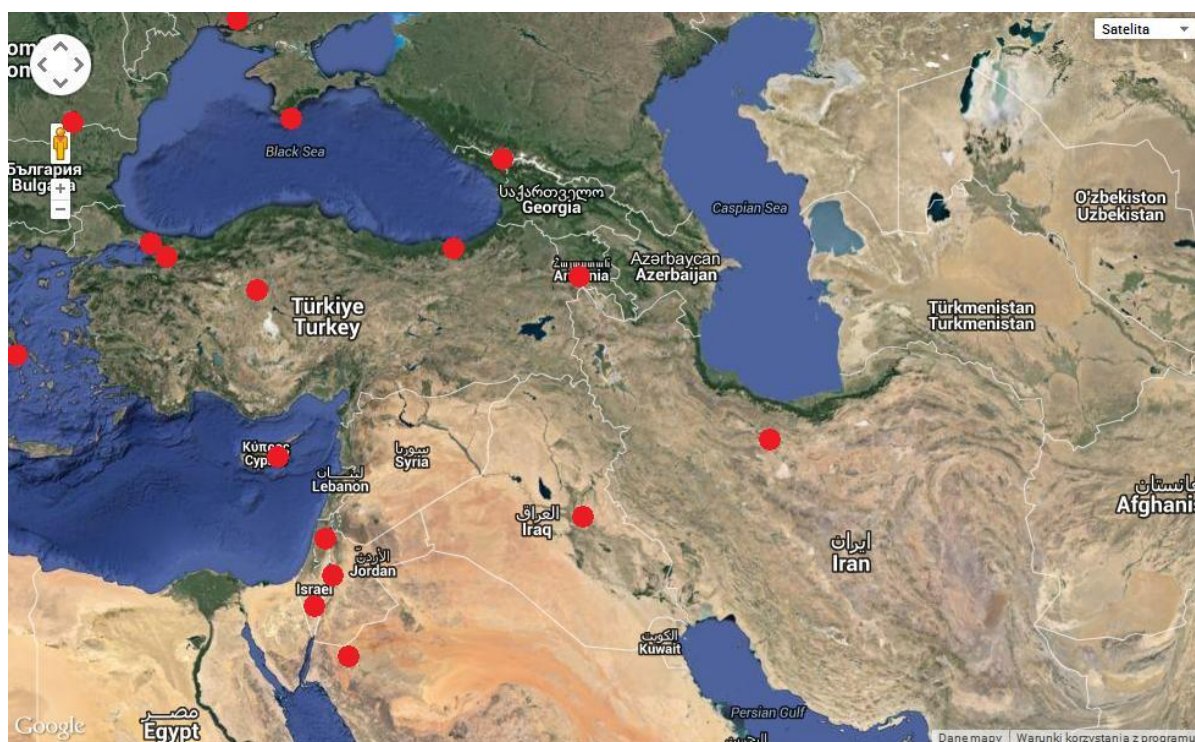


Рис. 6. Размещение станций IGS в районе Армении
<http://www.igs.org/>

Пункты нулевого ряда основы Армении выполняют роль, сходную роли, выполняемой пунктами EUREF-POL в контексте польской основы (до системы PL-ETRF2000). Аналогично основу 1 класса можно отождествлять с польской сетью POLREF. В эту иерархию пунктов включены были 12 пунктов, представляющих собой референчные станции. Класс этих пунктов может быть определен как нулевой ряд или класс 1. Решением, принятым в Польше, было создание нулевого ряда основы на основании референчных станций, включенных в сеть EPN. К сожалению в этом случае участие внешних сетей настолько мало, что такое решение можно не учитывать. К сожалению нынешние пункты нулевого ряда не могут быть преобразованы в референчные станции,

а по крайней мере это проблематично, учитывая их положение и телеинформационную инфраструктуру. Эти пункты являются фундаментом для сгущения сети и, одновременно, имеют наблюдательную историю. Они играют важную роль в контексте планируемого разделения основ.

Подведение итога

Армения решила создать систему референчных станций ARMPOS. Принятие такого решения несомненно будет способствовать введению многочисленных изменений в ныне функционирующую модель геодезической основы, пространственную систему отсчёта, а также в законодательство.

В случае референчных станций, хорошим решением было бы введение эксцентрических пунктов. Это решение оправдало себя в польских условиях. В случае пунктов нулевого ряда также может оно быть легко выполнимым, если уже не выполнено. В будущем позволит это на совмещение разных измерительных техник, создавая многофункциональную основу.

Система отсчёта ARMREF02 была реализована в 2002 г., то есть более 10 лет назад. Рекомендуются новая разработка спутниковых наблюдений из референчных станций системы ARMPOS, пунктов основы нулевого ряда, а также пунктов 1 класса. Полученные результаты, так как в случае Польши, могут послужить проведению анализа обоснованности перехода на систему ETRF2000 или решения остаться в прежней системе координат. Следует взвесить будет ли это изменение теперь иметь значимые экономические последствия и как это может выглядеть в случае возможного перехода на новую систему в будущем.

Учитывая малое сгущение референчных станций на территории Армении, можно рассматривать обоснованность введения выбранных армянских референчных станций в структуру сети IGS и EPN. Это решение позволит создать дополнительные пункты, которые могут быть использованы для привязки национальной сети. Одновременно, эти станции, при условии непрерывности работы, были бы полезны для этих организаций.

Разработка сети ARMPOS, так же как и работа референчных станций, должны происходить в непрерывном режиме. Результаты должны анализироваться под углом исследования стабильности системы отсчёта, её изменений по отношению к принятой реализации. Через 3 года, примерно в 2017 года, для станции можно будет определить в меру достоверные векторы скорости, что позволит повысить качество системы отсчёта и сделать более глубокий анализ.

Словарь сокращений

CORS	– Continuously Operating Reference Station
GNSS	– Global Navigation Satellite Systems
EPN	– EUREF Permanent Network
ETRS89	– European Terrestrial Reference System 1989
EUPOS	– European Positioning System
EUPOS CC	– European Positioning System Combination Centre
EUREF	– European Reference Frame
EUREF-POL	– European Reference Frame - Poland
EUVN	– European Vertical Network
IERS	– International Earth Rotation and Reference Frame Service
IGS	– International GNSS Service
ITRF	– International Terrestrial Reference Frame
ITRS	– International Terrestrial Reference System
POLREF	– Poland Reference Frame
SINEX	– Software Independent Exchange Format

Библиография

EPN (2014), <http://www.epncb.oma.be/>

IERS (2014), <http://www.iers.org/>

IGS (2014), <http://www.igs.org/>

Norwegian Mapping Authority, Mapping and Cadastre (2013), Terms of reference for the “Establishment of ARMPOS – a network of continuously operating reference stations for Armenia”, Case no. 12/07086

L. Jivall (2004) “Zero Order Geodetic Network of Armenia based on the GPS campaign carried out November 26 to December 1 2002”, Ref. No. 2002-004115, AM2-4-2, EUREF TWG report, 2004

Распоряжение Совета Министров от 15 октября 2012 г. О государственной системе пространственных систем отсчёта. Законодательный акт Республики Польша

Распоряжение Министра администрации и цифризации от 14 февраля 2012г. О геодезических, гравиметрических и магнетических основах Законодательный акт Республики Польша

Распоряжение Министра внутренних дел и администрации от 9 ноября 2011 г. относительно технических стандартов выполнения геодезических ситуативных и высотных измерений и разработки и передачи результатов этих измерений в государственный геодезический и картографический фонд Законодательный акт Республики Польша

Ryczywolski M. (2013) “Report on the Results of the PL-ETRF2000 project of the ETRS89 densification in Poland”, Warszawa 2013