На правах рукописи

КОССУГБЕТО Бриак Кевин Патрик

Совершенствование координатной основы на территории Республики Бенин

Специальность 25.00.32 - “Геодезия”

Автореферат

диссертации на соискание ученой степени

кандидата технических наук

Москва – 2015г.

Работа выполнена в Московском государственном университете геодезии и картографии на кафедре астрономии и космической геодезии.

Научный руководитель: Кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой астрономии и космической геодезии МИИГАиК,
Крылов Виктор Иванович.

Официальные оппоненты: **Кафтан Владимир Иванович**,
Доктор технических наук, профессор,
Геофизический Центр Российской академии наук,
Главный научный сотрудник.
Клюйков Александр Алексеевич,
Кандидат технических наук, доцент,
Институт астрономии Российской академии наук,
Старший научный сотрудник.

Ведущая организация: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Государственный университет по землеустройству».

Защита состоится «21» января 2016г. в 16^{30} часов на заседании диссертационного совета Д 212.143.03 в Московском государственном университете геодезии и картографии по адресу: 105064, Москва К-64, Гороховский пер., д.4, МИИГАиК.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке МИИГАиК и на сайте : http://miigaik.ru/nauka/dissertacionyy_sovet/dissertatsii/20151027105651-2669.pdf

Автореферат разослан «___»_____2015г.

Ученый секретарь
Диссертационного совета Ольга Владимировна Вшивкова

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы диссертации. В последние годы в геодезии появились революционные изменения в средствах и методах измерений. Это ГНСС-измерения и др. В Республике Бенин с 2006 г. проводились работы по созданию в стране сети постоянно действующих базовых станций (ПДБС). В итоге было выбрано семь мест для размещения этих станций. Эти станции являются частью сети CORS. Станция в городе Котону является частью AFREF (Африканская референцная геодезическая сеть). AFREF – это проект, предназначенный для введения в Африке единой системы отсчета. В этой связи становится весьма актуальной проблема сгущения координатной основы более высокоточными наблюдениями, например, ГНСС-наблюдениями. Эта проблема является актуальной как для государственных сетей Республики Бенин, так и для других стран Африки, где уже существует ПДБС.

Степень разработанности темы исследований. В источниках в Бенине данная тема исследована недостаточно, вопросы сгущения сети с использованием спутниковых технологий упоминаются крайне редко. В зарубежных источниках можно встретить ряд публикаций на указанную тему. Многие авторы (Герасимов М. А., Самратов У. Д., Филатов В. Н., Герасимов А. П., Degbegnon L. и др.) в своих работах осветили вопрос сгущения сети. Однако многие из них используют общепринятые алгоритмы обработки измерительной информации, в то время как спутниковые технологии дают возможность применять новые, нетрадиционные методы обработки.

Цель работы. В работе ставится цель совершенствования координатной основы Республики Бенин.

Основные идеи диссертационной работы. На основе спутниковых наблюдений требуется создать проект сгущения сети, составить алгоритмы и

программы, позволяющие применять метод наименьших квадратов для оценки точности создаваемого проекта.

Основные задачи исследования. В данной работе основными задачами являются:

- исследование современного состояния координатной основы Республики Бенин;
- создание топографической основы для сгущения опорных сетей;
- создание проекта сгущения сети на территории Республики Бенин;
- составление алгоритмов и компьютерных программ, позволяющих применять метод наименьших квадратов для оценки точности создаваемого проекта;
- установление параметров связи между плоскими координатами на территории страны;
- исследование изменений координат ПДБС во времени.

Положения и результаты, выносимые на защиту. На защиту выносятся:

- оптимальность предложенного варианта проекта сгущения координатной основы Республики Бенин;
- результаты оценки точности положения новых пунктов;
- параметры преобразования между координатами WGS 84 (преобразованные из трехмерных в двумерные) и Datum 58(81);
- результаты анализа временного изменения координат станций CORS в Республике Бенин.

Научная новизна работы.

- Впервые создан проект сгущения плановой опорной геодезической сети с использованием спутниковых измерений применительно к территории Республики Бенин;
- Впервые установлены параметры преобразования между координатами WGS 84 (преобразованные из трехмерных в двумерные) и Datum 58(81).

Теоретическая и Практическая значимость. Значимость работы заключается в основном в совершенствовании геодезических сетей

Республики Бенин. Вычислены параметры перехода между плановыми координатами на территории Республики Бенин. Создан оптимальный вариант сгущения геодезической сети Республики Бенин на основе спутниковых измерений. Данная работа полностью посвящена созданию единой геодезической основы для Республики Бенин и для всей Африки.

Методология и методы исследования. В диссертации рассматриваются вопросы, связанные с методологией проектирования геодезические сети. При решении поставленных задач использовались численные методы и методы сравнительные анализ.

Достоверность научных результатов, выводов и рекомендаций подтверждена теоретическими решениями и экспериментальными данными, полученными в работе. Научные результаты, выводы и рекомендации не противоречат известным положениям геодезии и её разделов, базируются на обоснованных и доказанных выводах. В отдельных случаях подтверждением служит сравнение с результатами других авторов.

Апробация работы. Основное содержание диссертации докладывалось и обсуждалось на двух научных конференциях студентов, аспирантов и молодых ученых МИИГАИК в 2012 г. и в 2014 г. Тема диссертации обсуждалась на конференции FGF (Федерация Французских Геодезистов) в Республике Буркина-Фасо в 2012 г.

Личный вклад автора заключается в создании проекта сгущения сети Республики Бенин, который реализован в программе Автокад.

Публикации. По материалам диссертации опубликованы пять статей в журналах, рекомендованных ВАК РФ.

Объем и структура диссертации. Диссертационная работа состоит из введения, трёх глав основного текста, заключения, списка литературы и приложений. Общий объем работы – 122 страницы. Диссертация содержит 37 рисунков, 12 таблиц. Список литературы состоит из 51 наименования, из них 31 источник на русском языке.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во **введении** сформулирована проблема, обоснована её актуальность, определены цель и основные направления при выполнении диссертационной работы.

В первой главе «Обзор выполненных работ по созданию координатной основы в Республике Бенин» представлена история создания координатной основы в Республике Бенин и даны характеристики сети. В 1904г. французские специалисты создали в Сенегале географическую службу для французской западной Африки (SGAOF- Service geographique de l'Afrique occidentale Francaise). Служба SGAOF изготавливала топографические карты в масштабах 1:200 000 и 1:50 000. В качестве поверхности относимости использовался эллипсоид Кларка 1880 г.

В июне 1944 г. Национальному географическому институту Франции (IGN-France) было поручено картографировать территорию французской колониальной империи. Программа работ включала выполнение аэрофотосъемки, построение нивелирной сети и создание карт в масштабах 1:200 000 и 1:50 000. С 1948 г. была начата аэрофотосъемка с американских самолетов Б17. Съемка выполнялась в масштабе 1:50 000. Геодезическая триангуляция выполнялась в сочетании с астрономическими определениями, что позволило вычислять координаты точек с точностью примерно в 30 м, которой было достаточно для заданных масштабов. Эти точки были распределены равномерно на расстоянии 40-50 км друг от друга. Нивелирование было проведено с помощью барометров, а для обработки фотоснимков использовали пантограф и стереоскоп.

За 25 лет интенсивной работы аэрофотосъемка в Западной Африке была почти завершена, выполнены наблюдения 3870 астрономических пунктов, проложено 69300 км нивелирных ходов, 95% территории было отснято в масштабе 1:200 000 (половина оформлена в виде топографических карт, а оставшаяся часть не была оформлена). Кроме того, были созданы карты в масштабе 1:50 000 на общую площадь 600 000 км^2.

На территории Республики Бенин сделано 27 аэрофотосъемок и созданы карты примерно 39% её площади. Сейчас сохранился один астропункт.

Кроме аэрофотосъемки выполнялись и гравиметрические съемки. С 1951 по 1952 гг. была создана гравиметрическая сеть Африки. Эту сеть назвали «Reseau Martin», она состояла из 293 гравиметрических точек. Гравиметрические работы на Западе Африки продолжались с 1953 по 1965 гг., а в Республике Бенин они были выполнены в 1955 г. управлением научно-технических исследований за рубежом при Национальном географическом институте Франции (ORSTOM-IGN France). Плотность гравиметрического покрытия составляет примерно 150 точек на квадратный градус.

Гравиметрические точки были выбраны рядом с сохранившимися реперами генерального нивелирования Национального Географического Института. Эти станции отстоят друг от друга примерно на 4-5 км (среднее расстояние между реперами генерального нивелирования), и их плотность в Республике Бенин составляет примерно 220 пунктов на квадратный градус. Количество станций на квадратный градус зависит от широты. В качестве иллюстрации на рис.1 представлена одна из этих карт.

Следует отметить, что государственные нивелирные сети Республики Бенин также были построены службой ORSTOM-IGN France до начала гравиметрических съемок. В апреле 1959 г. руководящая ею служба SGAOF распалась, а в 1961 г. в Республике Бенин был создан Национальный геодезический институт Бенина (IGN Benin). В Республике Бенин используют систему координат Datum 58(81). Национальная система координат Datum 58(81) была создана в Республике Бенин с участием Национального географического института Франции (IGN France) в 1958 г. К марту 1981 г. пункты системы координат были переопределены, в связи с чем она и получила наименование Datum 58(81). Координаты были определены в соответствии с доплеровскими измерениями.

Параметры системы координат Datum 58(81):

- эллипсоид Кларка 1880 г. (большая полуось a = 6378249,145 м, полярное сжатие $1/f$ = 293,465);
- проекция UTM: ширина зоны 6°; номер зоны 31; долгота центрального меридиана 3°00'00,00"; полушарие северное; масштабный коэффициент в меридиане M = 0,9996; смещение по оси абсцисс: 500 000 м; смещения по оси ординат: нет.

Государственная геодезическая сеть Республики Бенин первого класса имеет 60 точек, распределенных по всей территории страны (рис. 2). Сегодня положение всех пунктов определено во Всемирной геодезической системе WGS 84 и в зоне 31N проекции UTM.

Параметры перехода от WGS 84 на Datum 58(81):

- смещение по оси: $X\ \Delta x$ = 96,230 м; $Y\ \Delta y$ = 169,027 м; $Z\ \Delta z$ = -171,088 м;
- поворот вокруг оси: $X\ \omega_x$ = 0"; $Y\ \omega_y$ = 0"; $Z\ \omega_z$ = 0";
- масштабный фактор $M\ \Delta m$ = 0,6102 10^{-6}.

По результатам исследований в целях повышения точности Государственной геодезической сети Республики Бенин и создания геодезической основы для крупномасштабного картографирования части территории Республики Бенин было принято решение о размещении в городах Котону, Абомей, Савалу, Параку, Никки, Канди и Натитингу семи постоянно действующих спутниковых станций (Рис. 3).

Некоторые города Республики Бенин, например, такие как Бассила, Синанде, Тангиета, Сегбана и Каримама **(**Bassila, Sinendé, Tanguiéta, Ségbana et Karimama**)** (рис.3), до сих пор не охвачены сигналом радиомодема сети постоянно действующих станций.

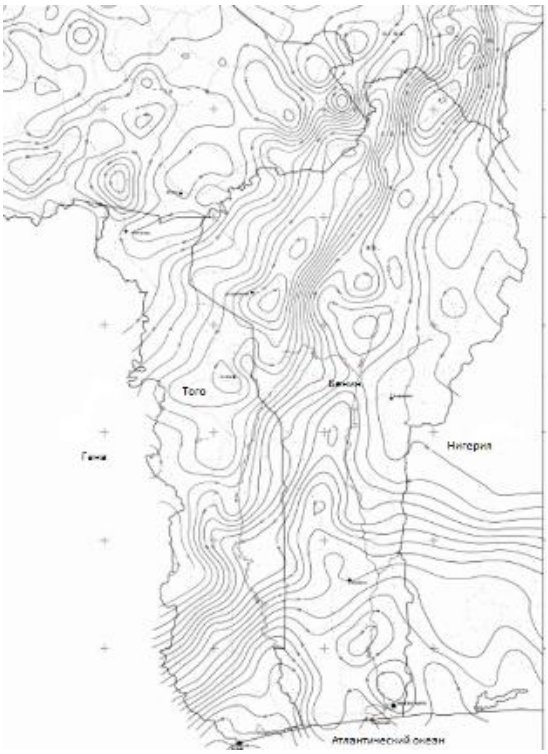


Рис. 1. Гравиметрическая карта На территории Республики Бенин и Того

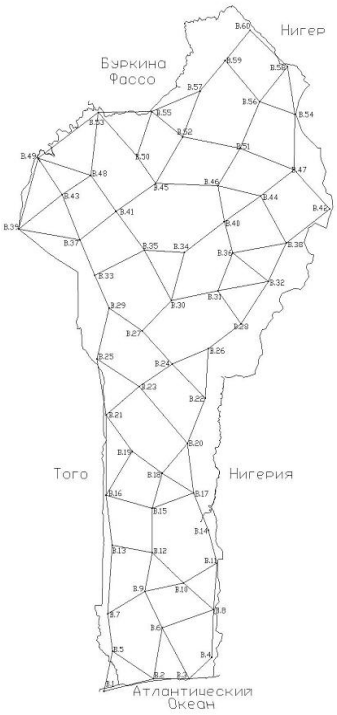


Рис. 2. Схема расположения геодезических пунктов на территории Республики Бенин

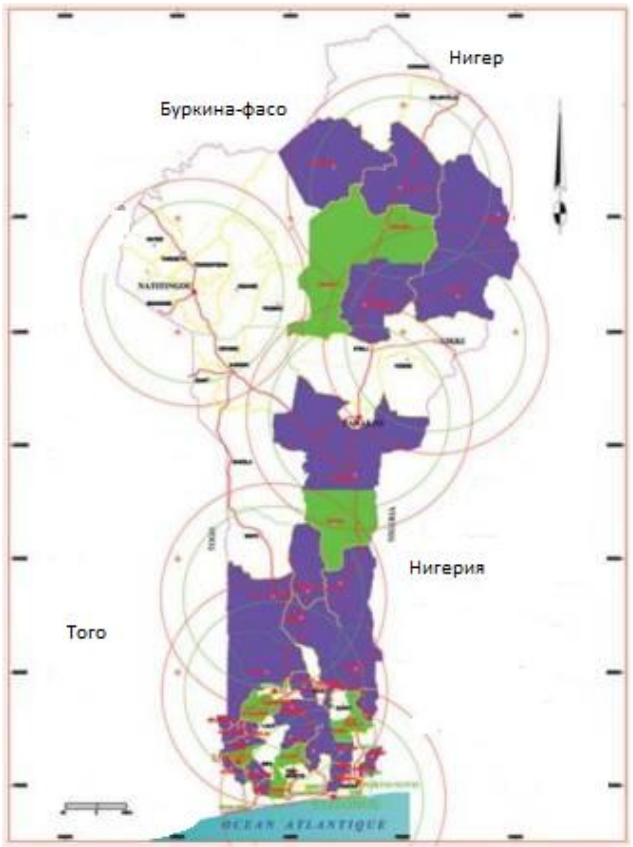


Рис. 3. Схема расположения семи станций сети CORS на территории Республики Бенин.

Во второй главе «Методы сгущения государственной геодезической сети» дается описание локальных постоянно действующих базовых станций, излагаются сведения о сгущении государственной геодезической сети Республики Бенин спутниковым методом. Показаны места расположения спроектированных пунктов на карте Республики Бенин. В Республике Бенин существуют семь ПДБС. Характеристики этих станций приведены в таблице 1.

Таблица.1 Данные о постоянно действующих станциях

№	Станция	Город	Оборудование		Изменение координат на август 2011 (М/год)			Система
			Приемник	Антенна	V_X	V_Y	V_Z	
1	BJAB	Абомей	TRIMBLE NETR5	TRM57971.00	-0.0034	0.0228	0.0205	CORS
2	BJCO	Котону		TRM59800.00	-0.0033	0.0230	0.0206	CORS, IGS и AFREF*
3	BJKA	Канди		TRM57971.00	-0.0051	0.0220	0.0204	CORS
4	BJNA	Натитингу			-0.0042	0.0222	0.0202	CORS
5	BJNI	Никки			-0.0048	0.0223	0.0205	CORS
6	BJPA	Параку			-0.0044	0.0224	0.0204	CORS
7	BJSA	Савалу			-0.0036	0.0227	0.0204	CORS

* AFREF Африканская референцная геодезическая сеть

Из таблицы 1 видно, что станция в городе Котону является частью AFREF. AFREF – это проект, созданный для объединения очень многих геодезических систем отсчета Африки (рис. 4). В качестве систем координат будет использоваться ITRF. На Африканском континенте расположены пятьдесят три страны. Каждая из них имеет свою координатную основу (а некоторые имеют 2 или более), которые они используют для межевания, составления планов и карт, дистанционного зондирования и ГИС. Текущее состояние этих систем и сфер их применения, однако, значительно отличается в разных странах.

Все станции IGS в Африке станут станциями AFREF, но не все станции AFREF будут являться частью IGS. Почти все станции CORS в Африке станут станциями AFREF. Техническая экспертиза и поддержка ожидаются от международного геодезического сообщества в лице IAG, IGS и т. д. В

Республике Бенин существуют две координатные основы. На рис 5 показано расположение этих координатных основ (красным цветом показана сеть Datum 58 (81), зеленым цветом – сеть RSPB) на территории Республики Бенин.

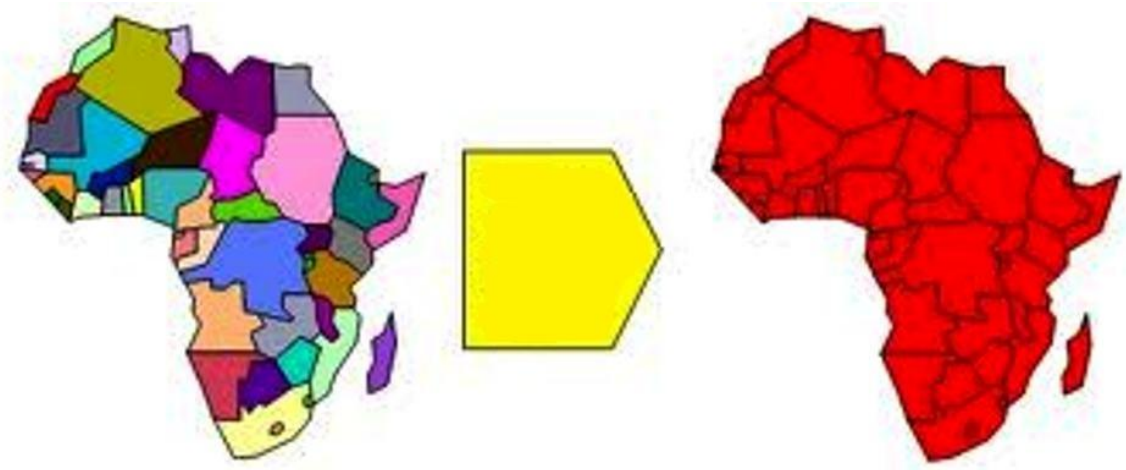


Рис. 4 Объединение геодезических систем отсчета Африки

Несмотря на наличие в стране двух каркасов, геодезисты и топографы работают в условных системах и часто не привязывают свои работы к национальной системе. Минимальное базисное расстояние между пунктами – 40 км. Для того, чтобы опереться на исходные пункты, топографам приходится прокладывать теодолитный или тахеометрический ход на расстояние до 20 км. Это неудобно, когда площадь и бюджет работ небольшие. Получается, что сеть недоступна для работы. Объединения этих двух систем в одну также недостаточно, поскольку базисное расстояние не уменьшается. В целях устранения этого недостатка, совершенствования координатной основы, введения в стране единой системы координат при выполнении всех геодезических и топографических работ необходимо сгущать существующие сети. При создании проекта сети будем опираться на ПДБС. Сеть предполагается создавать спутниковым методом. При проектировании сети учитываем наличие 67 сохранившихся твердых пунктов и определяем доступные места для расположения вновь определяемых пунктов. В результате создан проект сети, который показан на рис 6. Проект

сети состоит из 169 новых пунктов. Среднее расстояние между пунктами составляет 20 км.

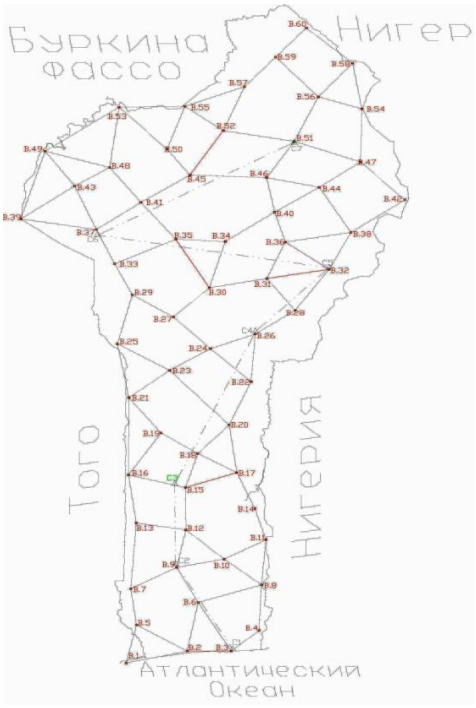


Рис.5. Схема расположения пунктов на карте Республики Бенин. Красным цветом показана сеть Datum 58 (81), зеленым цветом - сеть RSPB (CORS BENIN).

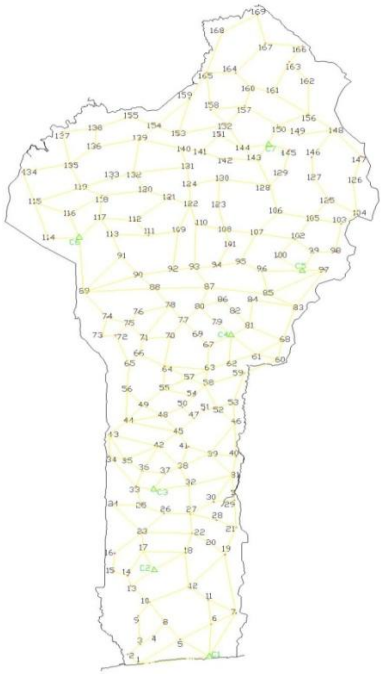


Рис. 6 Схема проектируемой сети на территории Республики Бенин.

Погрешность положения пунктов будем вычислять на основе априорной оценки точности. На рис. 7 показана блок-схема программы вычисления погрешности положения пунктов.

Для этого выполним следующие действия:

- мы имеем координаты 7 исходных пунктов. По созданному нами проекту задаем координаты определяемых пунктов. Эти координаты будем считать истинными или модельными;

-по этим координатам вычисляем приращения координат. Это будут истинные приращения координат;

-в соответствии с заданными средними квадратическими погрешностями предполагаемых измерений по истинным приращениям формируем «измеренные» приращения координат;

- задаем приближенные координаты определяемых пунктов;

-по приближенным координатам определяем счислимые значения приращений координат;

-у нас получилось два набора приращений: «измеренные» и «счислимые». По ним формируем вектор свободных членов и выполняем уравнивание.

Для оценки точности необходимо получить матрицу весовых коэффициентов определяемых пунктов по следующей формуле:

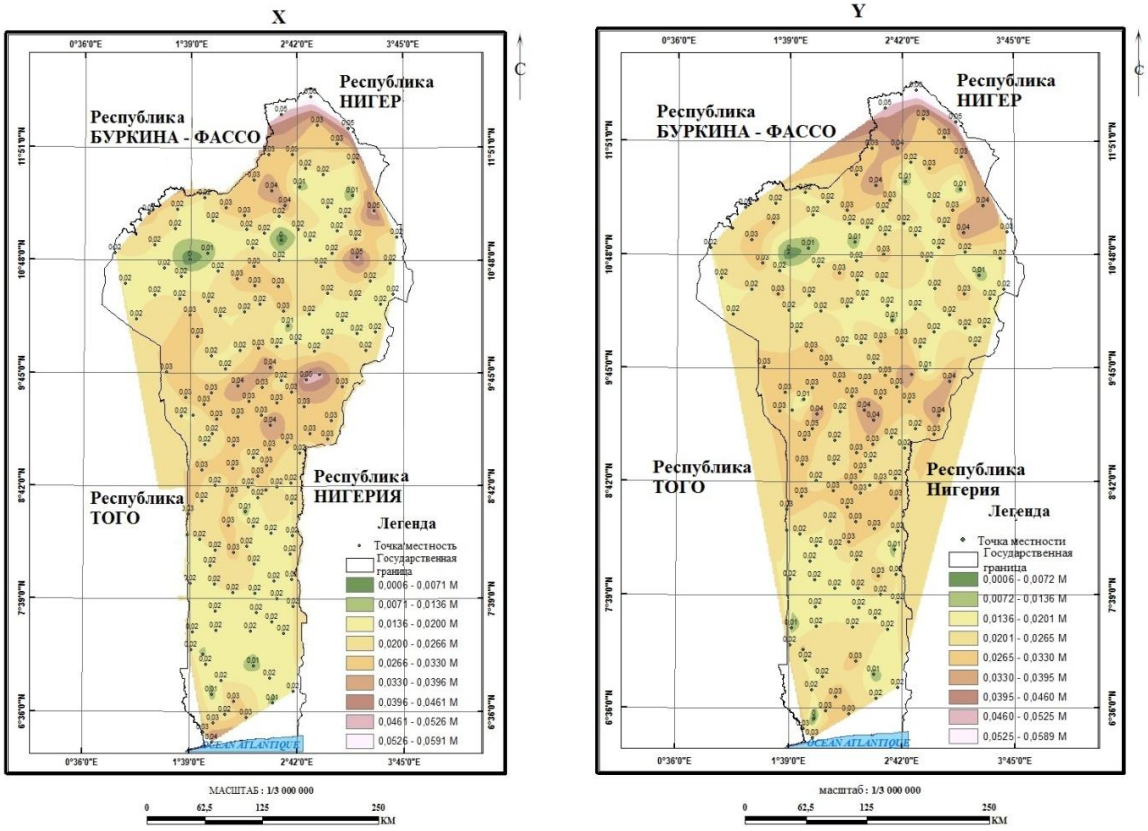
$$Q = (A^T \cdot P \cdot A)^{-1}, \quad (1)$$

где А – матрица коэффициентов перед неизвестными в уравнениях поправок;

Р – матрица весов измеренных величин.

Алгоритм предполагает выявление ошибок положения пунктов в плоских координатах X и У.

Таким образом, для сети, представленной на рис. 6, была выполнена априорная оценка точности. Результаты показаны на рис. 8.



а б

Рис.8 Распределение средних квадратических погрешностей по оси X (а) и по оси Y (б)

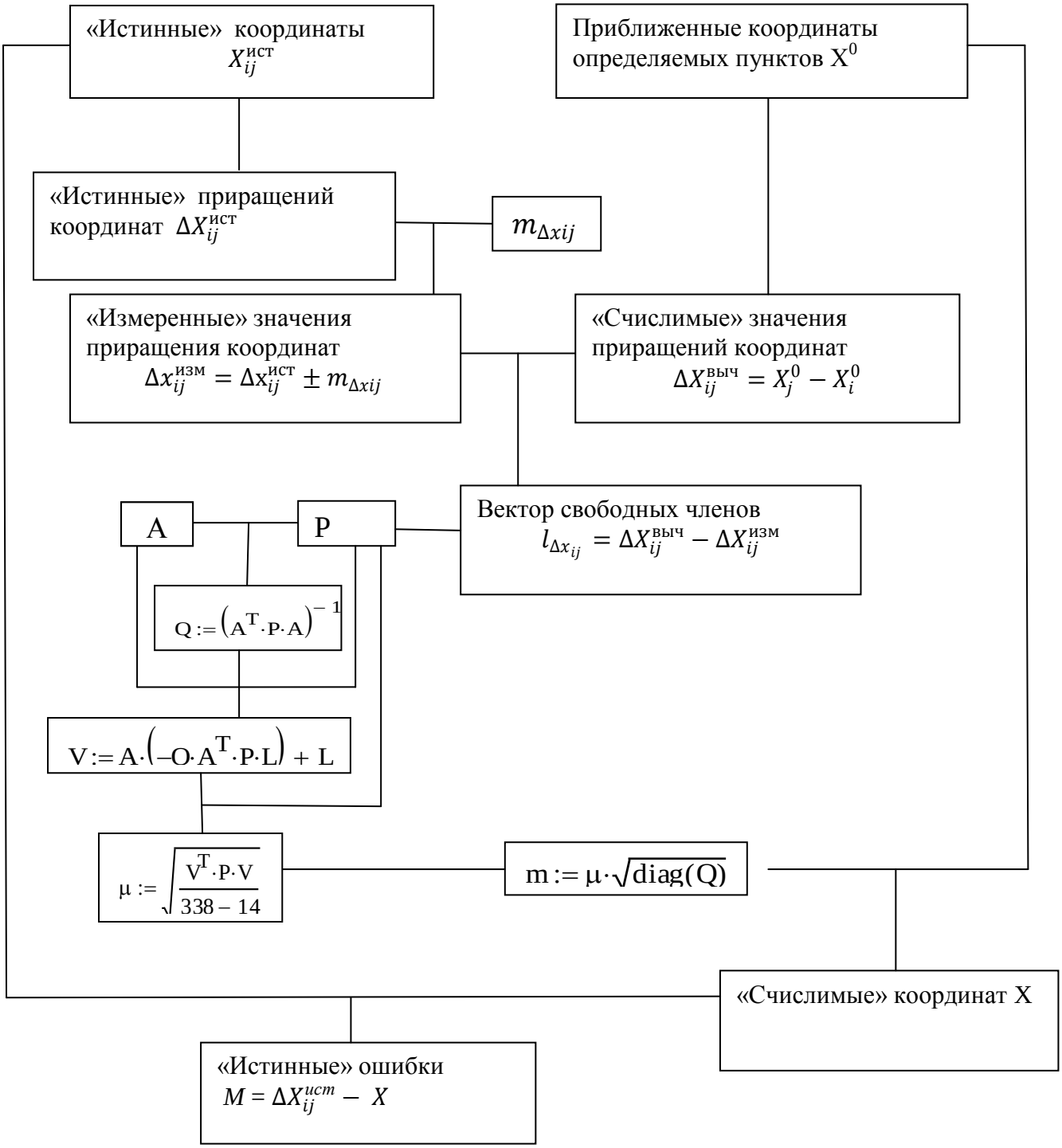


Рис 7. Блок-схема программы вычисления погрешности положения пунктов

На рис. 8 в качестве иллюстрации представлены средние квадратические погрешности положения пунктов по осям координат X и У. Среднее значение этих погрешностей составляет около 3 см. В северной части страны погрешности больше и они достигают 6 см. Кроме того, значения погрешностей возрастают с увеличением расстояний между пунктами.

Для улучшения результатов пришлось добавить один пункт к исходным пунктам и выполнить повторную оценку точности. Для этого один из пунктов Datum 58 (81) был добавлен к существующим исходным пунктам (получено 8 исходных пунктов и 169 определяемых). Результаты априорной оценки точности представлены на рис. 9 и рис. 10.

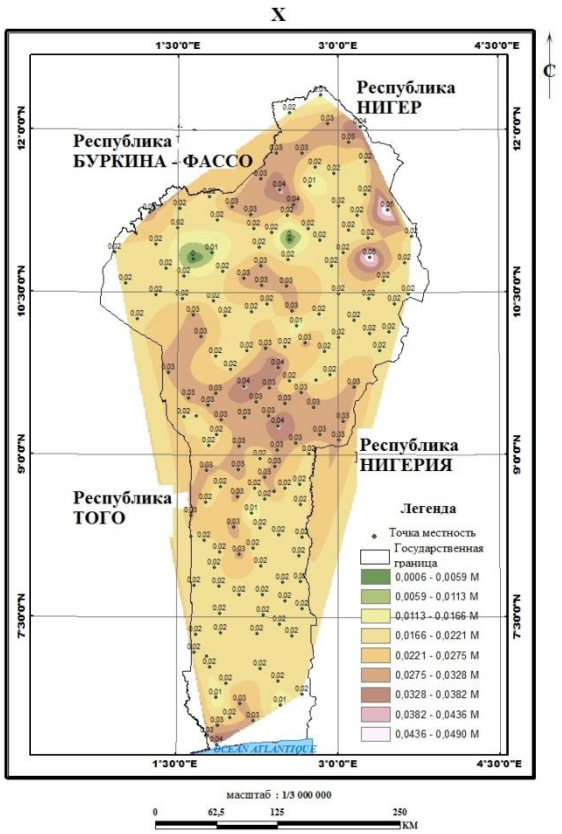


Рис.9

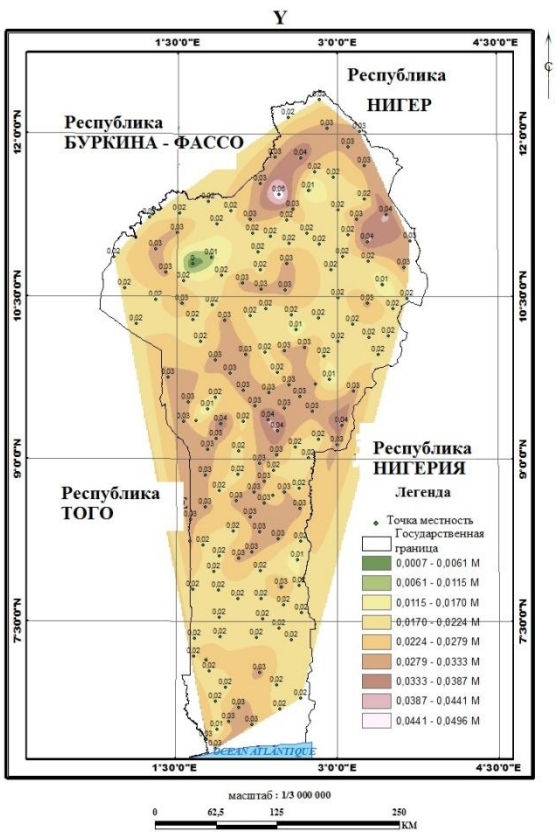


Рис.10

Рис.9. Значения средних квадратических погрешностей по оси X

Рис.10. Значения средних квадратических погрешностей по оси Y

По рисункам видно, что средние квадратические погрешности определения координат пунктов уменьшились, особенно в районе, где добавили один пункт. Например, определяемый пункт № 169, у которого средняя квадратическая погрешность положения была 7 см, стала значительно меньше (1 см по оси X и 2 см по оси У).

Теперь мы имеем два набора координат (вычисленные и модельные). Сравниваем их и получаем истинные ошибки. Результаты представлены на рис.11.

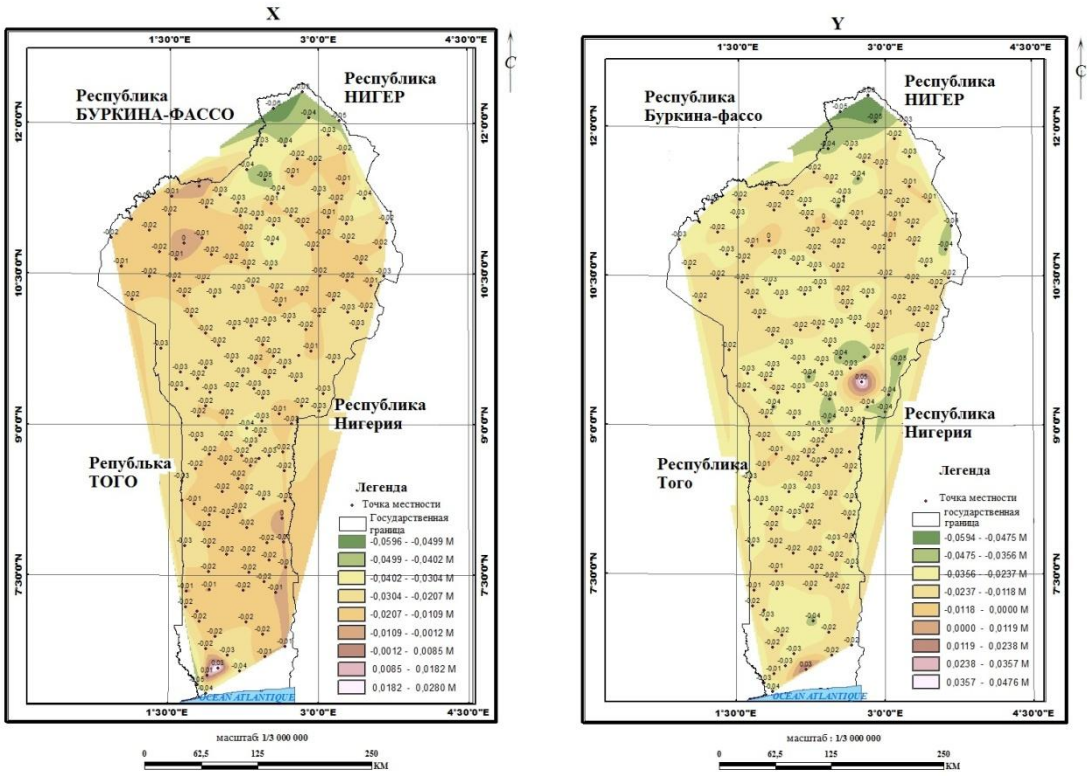


Рис .11. Значения истинных средних квадратических погрешностей по оси X и У.

Вывод:

Положение пунктов определяется с сантиметровым уровнем точности, т.е. достигнутая точность соответствует точности геодезической основы.

В третьей главе «Исследования координатной основы Республики Бенин» первоначально определяются параметры преобразования между координатами в проекции UTM, полученными из трёхмерных систем координат WGS-84 и Datum 58 (81). Рассмотрена также точность определения параметров преобразования в зависимости от площади территории, на которой располагаются пункты, координаты которых известны в обеих системах координат.

На территории Республики Бенин имеются четырнадцать пунктов, координаты которых определены в трёхмерной системе WGS 84 и в проекции UTM, преобразованные из системы координат Datum 58 (81).

В связи с этим параметры преобразования определялись между плоскими координатами в проекции UTM с необходимостью предварительно перевести координаты пунктов из системы WGS 84 в эту проекцию. Схема преобразования показана на рис.12.

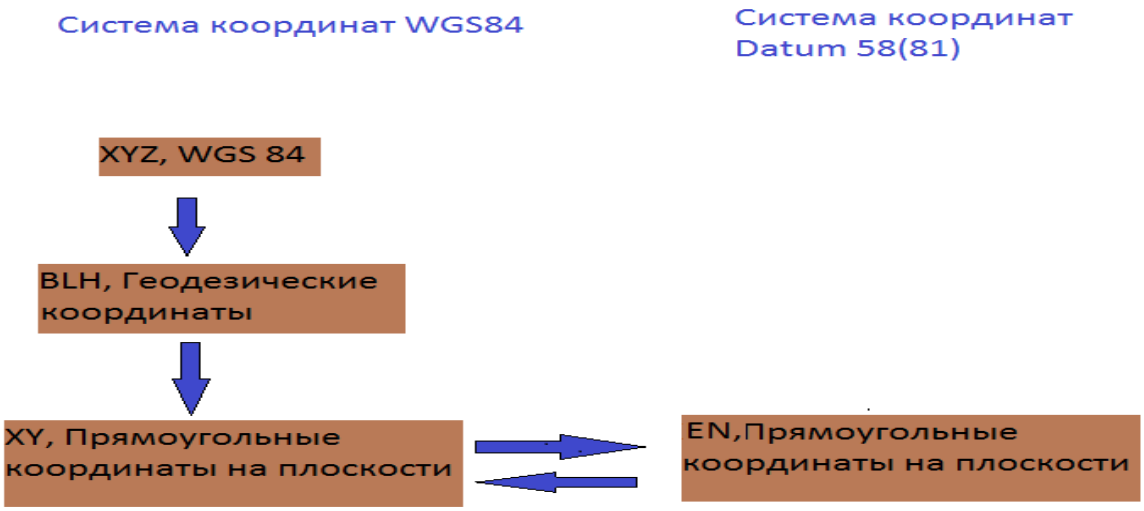


Рис.12 Схема преобразования координат

Поскольку при построении национальной системы координат Республики Бенин высоты не определялись, то такой подход вполне оправдан. При определении параметров преобразования координат на плоскости искомыми неизвестными являются: смещение начала координат по двум осям, угол поворота осей систем координат, масштабный коэффициент. Уравнениями связи в этом случае являются следующие уравнения:

$$X = m \cdot \cos \propto \cdot N + m \cdot \sin \propto \cdot E + \Delta X \; ; \qquad (2)$$
$$Y = -m \cdot \sin \propto \cdot N + m \cdot \cos \propto \cdot E + \Delta Y,$$

где X и Y – прямоугольные координаты пунктов в проекции Меркатора UTM, полученные путём преобразования координат WGS 84;

E и N - прямоугольные координаты тех же пунктов в проекции UTM, полученные из системы координат Datum 58 (81);

ΔX, ΔY – смещение начала по координатным осям;

$\propto$ - угол поворота; m - масштабный коэффициент.

Выполнены три варианта вычисления параметров преобразования:

Первый вариант:

Исходными данными служили 14 пунктов, расположенные на территории Республики Бенин, площадь которой составляет 112 620 квадратных километров. Для данного варианта получены следующие значения параметров преобразования:

смещение начала по оси Y: ΔY = -172,121 м;

смещение начала по оси X: ΔX = 136,293 м;

масштабный коэффициент: m =1,000004248;

угол поворота: α = 0°00'00,091".

Значения остаточных уклонений по осям координат на каждом из 14 пунктов приведены в таблице 2.

Таблица 2. Остаточные уклонения по осям координат

Название пункта	**X (см)**	**Y(см)**
Илаконджи	2,8	6,6
Котону	4,4	0,2
Авранку	3,5	-1,6
Побэ	1,1	-2,3
Абомея	-0,7	0,6
Агуна	-2,9	0,6
Аклампа	-3,6	-1,6
Пенессулу	-4,0	-2,9
Никки	-4,6	-0,2
Натитингу	-1,0	-4,3
Порга	2,1	-5,3
Парк Дубль - вэ	3,5	0,6
Багу	-1,1	1,5
Божекали	0,6	8,1

Результаты показывают, что средние значения остаточных уклонений составляют ± 4 см, максимальное значение – 8 см. Отметим, что значения и

направления остаточных уклонений не подчиняются какой-либо закономерности. Результаты вполне можно использовать для работ в области геодезии, топографии, экологии, навигации и т. п.

Второй вариант:

Исходными данными служили 5 пунктов, расположенных на юге страны. Названия этих пунктов приведены в таблице 3. Для второго варианта получены следующие значения параметров преобразования координат:

смещение начала по оси Y: ΔY = -171,800 м;

смещение начала по оси X: ΔX = 136,707 м;

масштабный коэффициент: m =1,000003703;

угол поворота: α = 0°00'00,041".

Значения остаточных уклонений по осям координат на каждом из 5 пунктов приведены в таблице 3.

Таблица 3. Остаточные уклонения

Название пункта	**X(mm)**	**Y(mm)**
Илаконджи	-2,4	8,2
Котону	0,2	-2,7
Авранку	-4,1	-3,6
Побэ	-3,0	1,9
Абомея	9,4	-3,8

Как видно из таблицы 3, остаточные уклонения не превышают 1 см, что значительно меньше, чем в первом варианте. Однако полученные параметры преобразования координат можно использовать лишь для локальной небольшой территории, расположенной на юге страны. Для подтверждения возьмем пункты, не находящиеся в южной части страны и проверим, подходят ли эти параметры для преобразования их координат.

Значения остаточных уклонений по осям координат получились следующими:

Таблица 4. Остаточные уклонения

Название пункта	**X (м)**	**Y (м)**
Агуна	-2,6	-6,2
Пенессулу	- 2,5	-7,7
Божекали	-4,3	-9,9

Анализ таблицы 4 показывает, что даже для пункта Агуна, ближайшего к опорным пунктам, параметры преобразования, полученные во втором варианте, не подходят.

Третий вариант: исходными данными служили 6 пунктов, расположенных на севере страны. Названия этих пунктов приведены в таблице 5. Для третьего варианта получены следующие значения параметров преобразования координат:

смещение начала по оси Y: ΔY = -172,462 м;

смещение начала по оси X: ΔX = 135,903 м;

масштабный коэффициент: m =1,000004600;

угол поворота: α = 0°00'00,133".

Значения остаточных уклонений по осям координат на каждом из 6 пунктов приведены в таблице 5.

Таблица 5. Остаточные уклонения

Название пункта	**X(mm)**	**Y(mm)**
Никки	12,5	-16,2
Натитингу	-6,8	4,6
Порга	-12,9	-6,4
Парк Дубль - вэ	9,0	0,3
Багу	2,8	-0,8
Божекали	-4,3	18,5

Значения остаточных уклонений достигли 2 см, что хуже, чем в предыдущем варианте. Это связано с увеличением площади, на которой расположены

опорные пункты. Для улучшения точности локализации необходимо выполнить её на малых участках.

Республика Бенин расположена на берегу Атлантического океана. Станция BJCO находится на расстоянии 2 км от океана. Кроме того, в городе находится один из крупнейших портов Западной Африки. В 1913, 1939 и 2009 гг. были зафиксированы землетрясения на территории Республики Бенин. Появление в стране ПДБС поможет лучше изучать это природное явление. Но для начала рассмотрим изменения во времени координат этих станций.

После получения набора результатов спутниковых наблюдений за период с 2009 по 2013 г. определение изменений координат станции производится в следующей последовательности:

Первый шаг: В городе Котону находится вычислительный центр для обработки результатов измерений CORS. Для исследования нам потребовались координаты пунктов на более чем 1500 эпох, которые были запрошены в центре.

Второй шаг: Для нашего исследования будем использовать локальную топоцентрическую систему координат. Начало этой системы координат совмещается с исследуемым пунктом земной поверхности, положение которого X_0, Y_0, Z_0 определено на эпоху t_0.

Положение станции в локальной топоцентрической системе координат в текущий момент времени *t* можно вычислить по формулам:

$$\begin{pmatrix} e_t \\ n_n \\ u_t \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -\sin L_0 & \cos L_0 & 0 \\ -\sin B_0 \cos L_0 & -\sin B_0 \sin L_0 & \cos B_0 \\ \cos B_0 \cos L_0 & \cos B_0 \sin L_0 & \sin B_0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} X_t - X_0 \\ Y_t - Y_0 \\ Z_t - Z_0 \end{pmatrix}, \quad (3)$$

где X_t, Y_t, Z_t – прямоугольные координаты пункта в гринвичской системе координат в эпоху *t*.

Используя формулы (3), мы вычислили топоцентрические координаты станции BJCO на промежутке времени с 2009 по 2013г. Результаты показаны на рис 13.

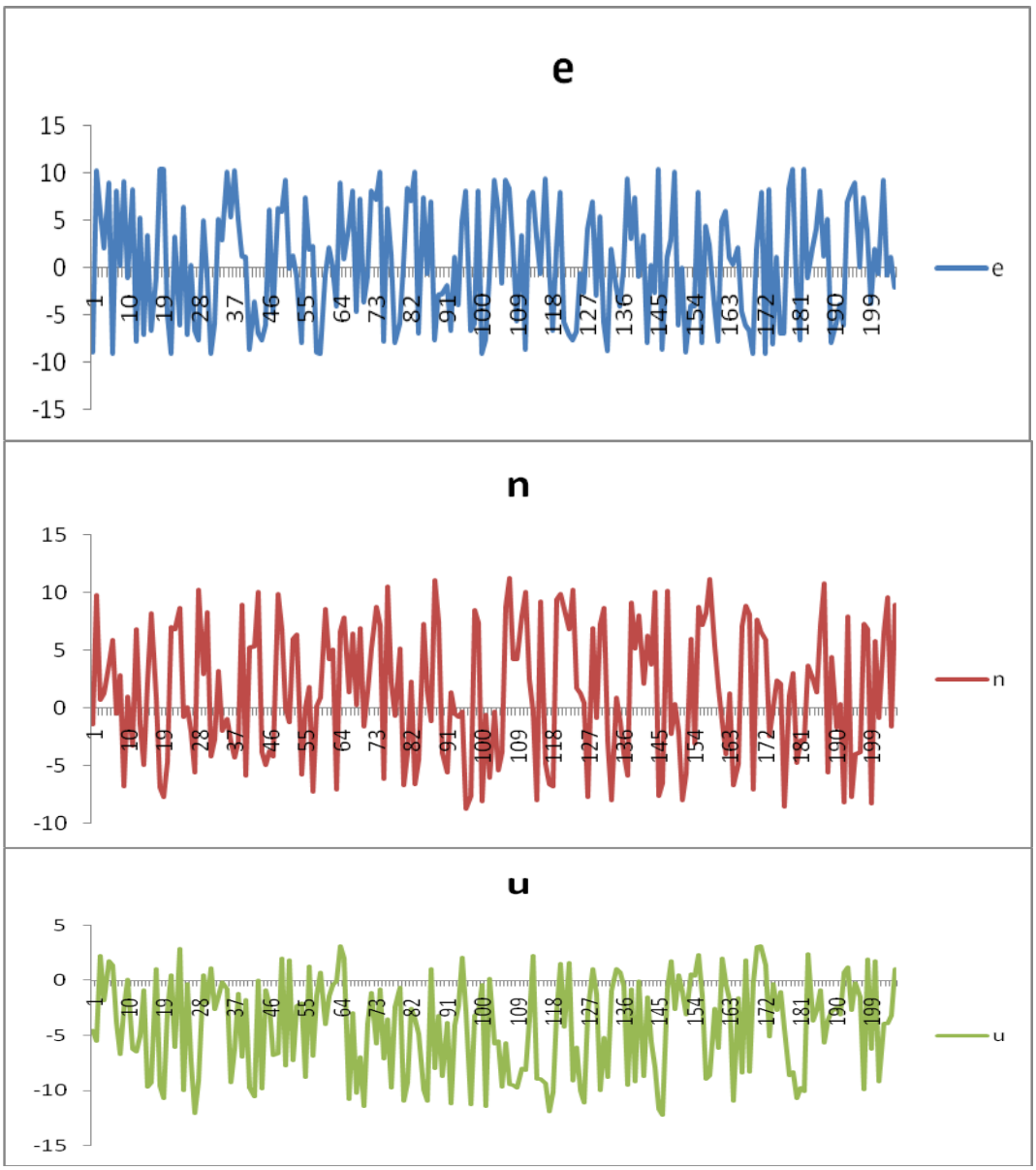


Рис 13. Значения координат **e, n, u** станции Котону с 2009 по 2013 гг.

Вывод: На рис. 13 видно, что по трем координатам временные изменения происходят случайным образом. В таком случае невозможно определить какую-либо закономерность для этих изменений

Для того чтобы выяснить, есть ли скрытые периоды в этом измерении, применим преобразование Фурье для станции Котону. Результаты показаны на Рис 14.

Вывод: на рис. 14 видно, что за исследуемый период времени есть скрытые периоды в измерениях по оси координат **n** и **u**, а по оси координат **e** есть шум. Эти периоды составляют по оси **u** 28,5 суток и по **n** 16 суток.

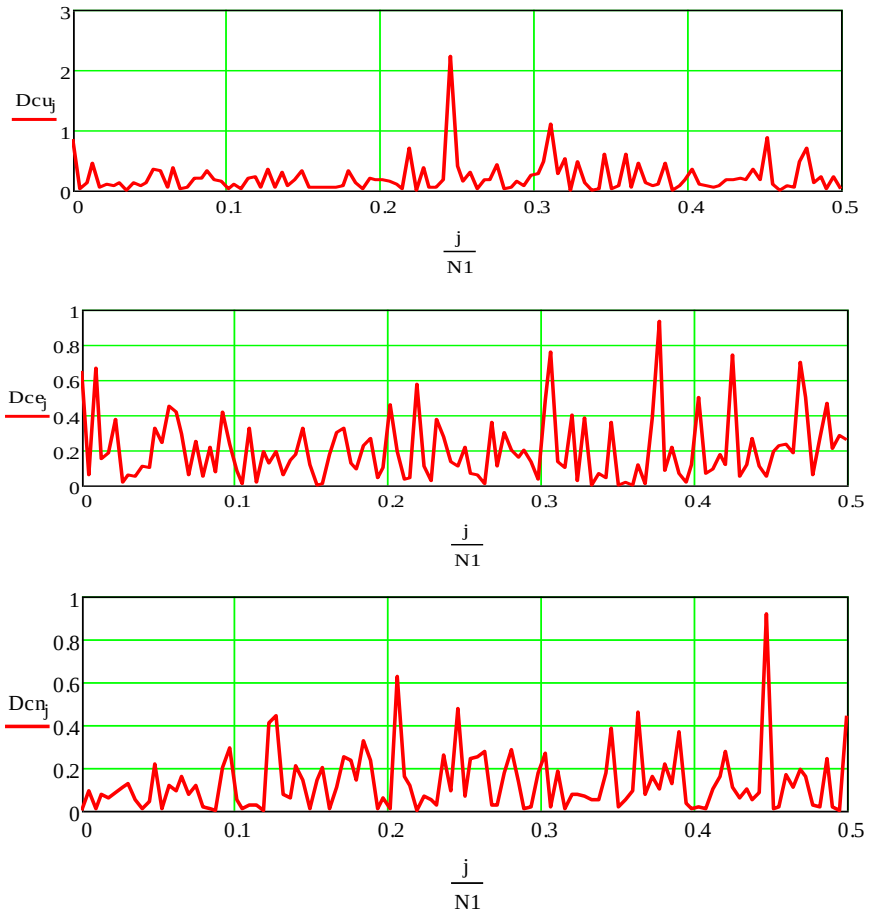


Рис. 14. Графики результатов преобразования Фурье по координатам **e, n, u** станции Котону с 2009 по 2013гг.

Заключение

Основные итоги исследования заключаются в следующем:

1. Изложены сведения из истории построения государственной геодезической сети Республики Бенин и ее современного состояния.

2. На территории Республики Бенин создан проект сгущения координатной основы. Проект включает в себя 169 определяемых пунктов. Выполненная априорная оценка точности показала, что значения средних квадратических погрешностей в положениях пунктов не превышают 6 см.

3. На всей территории Республики Бенин получены параметры преобразования, обеспечивающие воспроизведение координат с точностью порядка 5 см. Показано, что для геодезических задач с миллиметровым уровнем точности нужно выполнить локализацию такого же типа на часть территории страны.

4. Приведены графики временного и частотного изменения координат станций CORS в Республике Бенин.

Рекомендация. Перед применением данной работы, нужно исследовать стабильность существующих пунктов (система Datum 58(81) – 60 пунктов).

Перспективы дальнейшей разработки темы состоят в объединении существующих национальных систем координат реализованных различными геодезическими сетями между собой и с международной общеземной системой координат для получения единой геодезической основы.

Список публикаций по теме диссертации.

1. КОССУГБЕТО Б. К. Патрик, ЙЕССУФУ М. Жослин “Современное состояние координатной основы Республики Бенин” // Москва: Изв. вузов. Геодезия и аэрофотосъемка. 2014. № 1. С. 38 – 42.
2. КОССУГБЕТО Б. К. Патрик “Проект сгущения координатной основы Республики Бенин и его оценка точности” // Москва: Изв. вузов. Геодезия и аэрофотосъемка. 2014. № 3. С. 20 – 23.
3. КОССУГБЕТО Б. К. Патрик, ЙЕССУФУ М. Жослин “Определение параметров преобразования между плоскими координатами на территории Республики Бенин ” // Москва: Изв. вузов. Геодезия и аэрофотосъемка. 2014. № 4. С. 30 – 32.
4. КОССУГБЕТО Б. К. Патрик “Анализ сети постоянно действующих базовых станций в Бенин: принцип работы и перспективы **”** // Москва: Изв. вузов. Строительная механика инженерных конструкций и сооружений. 2015. № 2. С. 8 – 10.
5. Жослин М. ЙЕССУФУ, Патрик Б. К. КОССУГБЕТО “Африканская гравиметрическая сеть «RÉSEAU MARTIN», создание и развитие” // Москва: Изв. вузов. Геодезия и аэрофотосъемка. 2015. № 4. С. 20 – 26.