

УДК 335 (656.0521)

*М. М. Калипанов Kmm75565@mail.ru*

*М.Е. Шлейко cod3x3@bk.ru*

*А.Д. Есетов bata1984@inbox.ru*

*Военно-инженерный институт радиоэлектроники и связи,  
г. Алматы, Республика Казахстан*

## **ОРИЕНТИРОВАНИЕ РАДИОЛОКАЦИОННЫХ СТАНЦИЙ**

В статье приводятся некоторые вопросы по ориентированию радиолокационных станций (РЛС), в современных военных конфликтах в целях сохранения живучести необходимо постоянно менять свои боевые позиции станции, где частая смена позиций требует умений и навыков боевого расчета радиотехнических подразделений (РТП) при развертывании РЛС, осуществлять топогеодезическую привязку элементов боевого порядка своими силами с высокой точностью, в противном случае боевые расчеты РЛС не смогут выполнить боевую задачу по выдаче радиолокационной информации в режиме централизованного управления подразделениями, а также выдавать целеуказания и целераспределения взаимодействующим и обеспечивающим частям.

Приведены содержание и способы топогеодезической привязки боевых позиций РЛС РТП войск ПВО.

Детально изложен способ определения ориентирного направления на позиции РТП астрономическим способом. Приведены примеры использования радиолокационного сигнала РЛС и сравнение их с цифровыми 3D-картами, применяемыми для быстрого ориентирования с помощью нейронных сетей.

**Ключевые слова:** азимут, астрономическое ориентирование, дирекционный угол, долгота, плоские прямоугольные координаты, сближение меридиан, Солнце, стартовая позиция, топогеодезическая привязка, широта

### **Введение**

Опыт современных войн показывает, что все нападения начинаются средствами воздушного нападения, в первую очередь осуществляется подавление систем ПВО страны. Главную роль о предупреждении начала воздушного нападения играют радиотехнические подразделения, а именно обнаружение происходит РЛС. При работе радиолокационных средств по обнаружению воздушных объектов противниками радиоэлектронной разведкой обнаруживаются боевые позиции РЛС, и в целях обеспечения живучести РЛС необходимо менять свои боевые позиции [1].

### **Методология исследования**

Частая смена боевых позиций РЛС требует определенного времени, умений и навыков боевого расчета РЛС по осуществлению топогеодезической привязки элементов боевого порядка своими силами с высокой точностью, в противном случае радиолокационная информация, выдаваемая зенитно-ракетным войскам, истребительной авиации и частям радиоэлектронной борьбы для целеуказания и целераспределения, будет не точной [1-20].

### **Результаты и обсуждение**

Топогеодезическая привязка боевой позиции РЛС может состоять:

- определение геодезических или плоских прямоугольных координат точки стояния станции и ее высоты над уровнем моря;

- определение азимута (дирекционного угла) с точки стояния РЛС на ориентир.

Координаты позиции РЛС определяют:

- с помощью приборов по карте и с приборами наземной навигации;

- на геодезической основе;

- с помощью приборов спутниковой навигации.

Ориентирные направления с точки РЛС на местный предмет (ориентир) определяют:

- по магнитной стрелке буссоли (теодолита) с учетом поправки буссоли;

- на геодезической основе;

- гироскопическим способом;

- астрономическим способом.

**В геодезической системе** координат основными исходными кругами для определения координат любой точки земной поверхности являются земной экватор и начальный (нулевой Гринвичский) меридиан (рис.1).

Положение точки на земной поверхности указывается двумя координатами [2, с.6-8]:

- геодезической широтой  $B$  (от  $0$  до  $90^\circ$ СШ в Северном полушарии; от  $0$  до  $90^\circ$ ЮШ в Южном полушарии);

- геодезической долготой  $L$  (от  $0$  до  $180^\circ$ ВД к востоку от Гринвича; от  $0$  до  $180^\circ$ ЗД к западу от Гринвича).

Геодезическая широта  $B$  – угол между отвесной линией, проходящей через данную точку Земли, и плоскостью экватора.

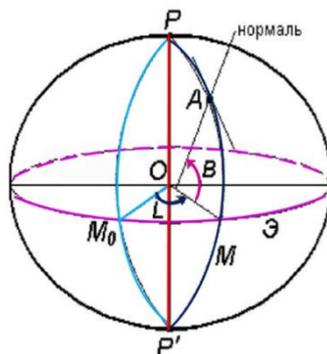


Рисунок 1 – Геодезическая система координат

Геодезическая долгота  $L$  – сферический угол при географическом полюсе между начальным меридианом и меридианом данной точки, который измеряется двугранным углом между плоскостями этих меридианов.

Иначе геодезическую долготу можно представить как дугу экватора между начальным меридианом и меридианом данной точки.

Пункты земной поверхности, имеющие одну и ту же долготу, расположены на одном меридиане.

Прямоугольная система координат имеет зональный характер.

Наиболее широко распространенной системой проекций и координат является *универсальная поперечная Меркатора* [3]. Она используется в большинстве работ, связанных с дистанционным зондированием, подготовкой топографических карт, так как обеспечивает точные измерения в метрической системе, принятой в большинстве стран, кроме США. В ней основной единицей измерения длины является метр. В США до сих пор преобладают старые английские меры (дюймы, футы, ярды, мили и т.д.).

Для топографических карт в шестиградусных зонах ряда стран применяется проекция UTM (*Universal Transverse Mercator*) [3], называемая также проекцией Гаусса-Боага.

В этой проекции Земля делится на 60 шестиградусных зон ( $6^\circ \times 60 = 360^\circ$ ). Зоны пронумерованы от 1 до 60, начало отсчета  $180^\circ$  западной долготы. Каждая зона имеет свой центральный меридиан (рис. 2). Проекция UTM основана на цилиндре, ориентированном параллельно экватору, поэтому она является *поперечной*. Координаты UTM выражаются в метрах. Отчёт по оси X (направление на восток) идёт от центрального меридиана зоны. Отчёт по оси Y (направление на север) начинается от экватора. Чтобы исключить отрицательные координаты, проекция изменяет значения в начале координат. Величина сдвига от центрального меридиана – это *ложный восточный сдвиг*, он равен 500000 метров; величина сдвига от экватора – *ложный северный сдвиг* (0 метров).

В проекции UTM может использоваться как правая (ось X идет на восток, ось Y – на север), применяемая в западных странах, так и левая система координат (ось X направлена на север, ось Y – на восток), применяемая в постсоветских государствах, в т.ч. в Республике Казахстан.

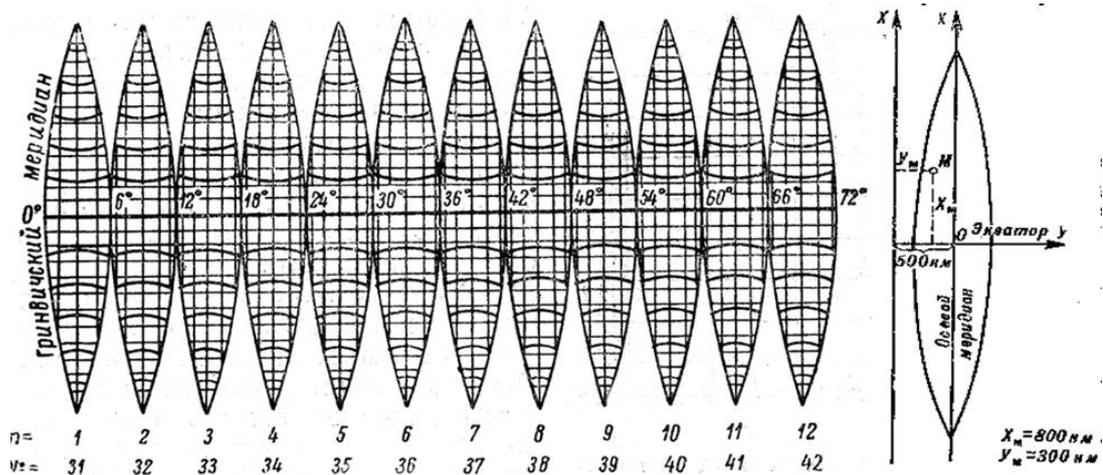


Рисунок 2 – Универсальная поперечная проекция Меркатора и равноугольная поперечная цилиндрическая проекция Гаусса-Крюгера

В СССР применялась, а в некоторых постсоветских странах (в том числе и в Казахстане) применяется до сих пор картографическая проекция Гаусса-Крюгера как основа для системы плоских прямоугольных координат, определяющих положение опорных геодезических пунктов на земной поверхности. Они применяются в пределах каждой шестиградусной зоны [4].

Отличие от проекции UTM заключается в том, что нумерация шестиградусных зон начинается от первой зоны, примыкающей к Гринвичскому меридиану с востока, следовательно, номер  $n$  шестиградусной зоны проекции Гаусса-Крюгера связан с номером  $N$  зоны картографической проекции UTM соотношением  $n=N-30$  (рис.2), а также в том, что в ней на среднем меридиане зоны частный масштаб длин равен 1.

Ориентирование на местности – значит определить свое местоположение относительно сторон света.

Приблизительно можно ориентироваться по Солнцу. Примерно в 7 часов Солнце на востоке, в полдень (13.00) – на юге, а в 19 часов – на западе.

Магнитные азимуты  $A_m$  на местные предметы можно определить с помощью компаса или магнитной стрелки буссоли (теодолита).

Срединная ошибка определения  $A_m$  с помощью компаса  $E_{A_m} = 3^\circ$ .

При определении дирекционного угла  $\alpha$  перископической артиллерийской перископической буссолью (ПАБ-2, ПАБ-2А) или с помощью магнитной стрелки теодолита и ориентировании станции без учета поправки буссоли  $\Delta A_m$  срединная ошибка может быть  $E_\alpha = 1-00$  ( $6^\circ$ ) и более.

Таким образом, эти методы не могут быть применены для определения ориентирного направления в подразделениях ПВО.

Поэтому в качестве ориентирных направлений необходимо иметь дирекционные углы  $\alpha$  (истинные азимуты  $A$ ).

Ориентирные направления с точки СНР (РПН, РЛС) определяют:

- по магнитной стрелке буссоли (теодолита) с учетом  $\Delta A_m$ . При этом срединная ошибка  $E_\alpha = 0-04$  ( $14.4'$ );
- на геодезической основе (точность в зависимости от исходной основы);
- гироскопическим способом  $E_\alpha = 40''$  при работе с гирокомпасом 1Г17. Требуется до 40 мин времени;
- астрономическим способом. Затрачиваемое время – до 10 мин.

**Астрономический способ** определения азимуты  $A$  (дирекционных углов  $\alpha$ ) направлений является точным, автономным и не зависит от наличия на местности пунктов государственной геодезической сети (ГГС). При этом срединные ошибки составляют  $E_A = 0-01$  при работе ПАБ-2 и  $E_A = 1'$  при работе теодолитом.

При определении ориентирных направлений любым способом необходимо учитывать связь между дирекционным углом, азимутом и магнитным азимутом (рис. 3).

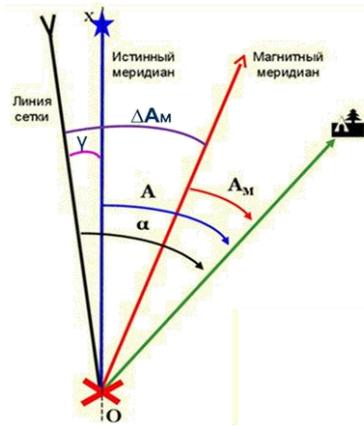


Рисунок 3 – Связь между дирекционным углом, азимутом и магнитным азимутом

Дирекционный угол  $\alpha$  – горизонтальный угол между северным направлением координатной линии сетки карты и направлением на ориентир.

Азимут (истинный азимут)  $A$  – горизонтальный угол между северным направлением истинного меридиана и направлением на ориентир.

Магнитный азимут  $A_m$  – горизонтальный угол между направлением на северный магнитный полюс (магнитный меридиан) и направлением на ориентир.

$A$ ,  $\alpha$  и  $A_m$  измеряются по ходу часовой стрелки от  $0^\circ$  до  $360^\circ$ .

Сближение меридиан  $\gamma$  – угол между вертикальной линией сетки карты и истинным меридианом.

Поправка буссоли  $\Delta A_m$  – угол между магнитным меридианом и северным направлением вертикальной линии сетки карты. Определяется на местности опытным путем, используя дирекционный угол и азимут одного и того же направления

$$\Delta A_m = A_m - \alpha. \quad (1)$$

Переход от азимута к дирекционному углу

$$\alpha = A - (\pm \gamma). \quad (2)$$

Переход от дирекционного угла к азимуту

$$A = \alpha + (\pm \gamma). \quad (3)$$

Переход от магнитного азимута к дирекционному углу

$$\alpha = A_m - (\pm \Delta A_m). \quad (4)$$

В связи с суточным вращением Земли вокруг своей оси положение светила на небосводе непрерывно меняется, и в каждый промежуток времени оно будет занимать новое положение. Соответственно этому будет изменяться азимут светила  $A_{св}$  и горизонтальный угол  $Q$ . Несмотря на это, сумма этих измененных значений, т.е. азимут  $A_{ор}$  останется прежним, поскольку азимут земного предмета есть величина постоянная (рис. 4).

Сущность способа астрономического ориентирования состоит в измерении  $Q$  между центром Солнца и земным предметом с фиксацией момента наблюдения по часам и вычисления азимута светила на этот же момент времени.

Таким образом, для определения азимута  $A_{ор}$  необходимо вычислить азимут светила  $A_{св}$  и измерить горизонтальный угол  $Q$  между светилом и местным предметом (ориентиром) в один и тот же момент времени. Угол  $Q$  измеряется с помощью буссоли или теодолита. Тогда

$$A_{ор} = A_{св} + Q. \quad (5)$$

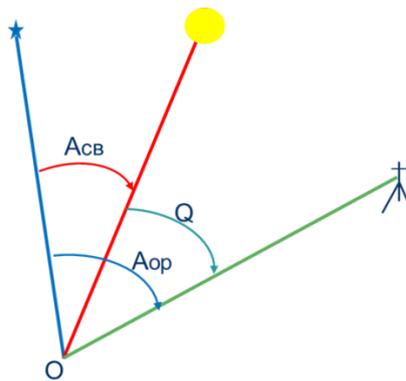


Рисунок 4 – Сущность способа астрономического ориентирования

Точность определения астрономического азимута зависит от:

- точности вычислительных работ;
- точности измерения времени наблюдения светила;
- точности определения горизонтального угла между светилом и ориентиром, на который требуется определить азимут (дирекционный угол).

Для вычисления астрономического азимута  $A$  используют следующие координаты светила первой экваториальной системы небесных координат (рис.5) [5]:

- часовой угол  $t$  светила;
- склонение  $\delta$  светила.

Часовым углом светила  $t$  называют дугу небесного экватора от плоскости небесного меридиана до круга склонений светила, или двугранный угол, заключенный между плоскостью меридиана и плоскостью круга склонений светила.



Рисунок 5 – Первая экваториальная система небесных координат

Название «часовой угол» объясняется тем, что при вращении Земли вокруг своей оси его величина изменяется пропорционально времени. Поэтому часовой угол выражают как в угловой (от  $0^\circ$  до  $360^\circ$ ), так и в часовой мере (от  $0^h$  до  $24^h$ ), т.к. полный оборот светила в  $360^\circ$  соответствует  $24^h$ . Тогда  $15^\circ$  соответствует  $1^h$ .

Склонение светила  $\delta$  – дуга круга склонений от небесного экватора до светила или угол в плоскости круга склонений от небесного экватора до светила.

Азимут светила  $A$  определяется горизонтальной системой небесных координат (рис. 6). Это дуга небесного горизонта от точки юга до круга склонений светила или центральный угол между южным направлением и кругом склонений [6].



отражение местности на индикаторе кругового обзора, а также использование цифровых 3D-карт с помощью искусственного интеллекта. Определение точного расположения и определения сторон света методом сравнения из памяти цифровых карт по модели радиолокационного отражения. Фактически это разработка является аванпроектом по внедрению в РЛС систему радиолокационной навигации.

Это потребовало проведение исследований по восстановлению по цифровым картам местности моделей радиолокационных отражений, обучению нейронной сети выделению характерных ориентиров, разработка алгоритмов и программ для определения географических координат точки, из которой могло быть получено данное радиолокационное отражение и оценка точности. При этом необходимо решить основные научные вопросы по оценке адекватности соответствия радиолокационных отражений от местных предметов и их моделей, полученной по цифровым картам. Известно, что при радиолокационном зондировании местные предметы описываются как совокупность множества отдельных отражателей со своими независимыми амплитудами и фазами отражений. Необходимо будет посредством набора большой статистики определить требования к набору частот зондирования, на которых необходимо проводить измерения, чтобы получить приемлемые точности для восстановления профиля местности по радиолокационным отражениям, пригодного для решения задачи местоопределения.

Особое внимание уделялось цифровой модели рельефа (ЦМР). Как известно, существует несколько методов получения ЦМР. Можно отметить широко применяемую спутниковую и авиационную стереосъемку (как оптическую, так и радиолокационную), а также воздушное лазерное сканирование, характеризующееся, с одной стороны, максимально высокой точностью, а с другой – достаточно высокой стоимостью. Кроме того, существует метод получения ЦМР по одиночным изображениям или аэрофотоснимкам. Применяется оцифровка существующих топографических карт с последующим получением ЦМР в соответствующем программном обеспечении. Очевидными преимуществами получения качественной модели рельефа на основе радиолокационных данных являются:

- всепогодность радиолокационной съемки (нет зависимости от облачности и времени суток в отличие от оптической стереосъемки);

- относительно низкая стоимость и широкая полоса захвата по сравнению с аэросъемкой и воздушным лазерным сканированием;

- минимальные трудозатраты при обработке данных космической съемки по сравнению со стереооптической обработкой (процесс получения рельефа в программном модуле SARscape ПК ENVI практически полностью автоматизирован);

- в случае использования данных радиолокатора PALSAR с космического аппарата (КА) ALOS с гарантированной субпиксельной точностью геопозиционирования возможно построение ЦМР без наземных контрольных точек либо с их минимальным количеством;

- высокая точность и детальность получаемых результатов (в частности, по экспертной оценке авторов, для данных ALOSPALSAR результирующий рельеф близок к рельефу топографической карты масштаба 1:25000 при размере одной сцены порядка 70\*70 км).

В то же время атмосферные эффекты представляют собой один из основных источников ошибок космической радиолокационной интерферометрии, которые могут маскировать фактическую картину рельефа, что существенно ограничивает их практическое использование.

В связи с этим в работе используется инновационный подход [14] к снижению влияния атмосферных эффектов на интерферометрическую фазу прямым исключением атмосферного фазового сдвига из радиолокационного сигнала, принципиально отличающегося от известных. Это логически вытекает из того, что интерференционная фаза является результатом наложения фаз двух разновременных радиолокационных снимков, получаемых при различных метеорологических условиях. Прямое исключение атмосферного фазового сдвига из радиолокационного сигнала основывается на физических принципах его образования, которые определяют отклонение истинных расстояний от спутника до объекта

наблюдения и измеренных локацией и позволяют приблизить точность КРИ к высокоточным наземным измерениям.

В работе использовалась глобальная цифровая модель рельефа (GDEM), составленная с данных усовершенствованного спутникового радиометра теплового излучения и отражения (Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer) (рис. 8). Этот радиометр был запущен на спутнике Terra в декабре 1999 года Министерством экономики, торговли и промышленности Японии (METI) и Национальным агентством по авионавигации и космонавтике США (NASA). Результаты проведенной этим радиометром стереоскопической съемки были выложены в свободный доступ через сеть Интернет в виде файлов высот, участков территории всего земного шара размерами 1x1 градус, с разрешением 100x100 метров поверхности и 1 метра по высоте [15].



Усовершенствованный термально-оптический радиометр космического базирования – ASTER (Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer)

Технические характеристики

Режимы:	VNIR	SWIR	TIR
Спектральный диапазон (мкм):	1: 0.52-0.60 2: 0.63-0.69 3N: 0.76-0.86 3B: 0.76-0.86	4: 1.600-1.700 5: 2.145-2.185 6: 2.185-2.225 7: 2.235-2.285 8: 2.295-2.365 9: 2.360-2.430	10: 8.125-8.475 11: 8.475-8.825 12: 8.925-9.275 13: 10.25-10.95 14: 10.95-11.65
Пространственное разрешение:	15 м	30 м	90 м

Рисунок 8 – Космический аппарат Terra

В таблице 1 приведены параметры ASTERGDEM

Таблица 1. Параметры ASTER GDEM

Размер фрагмента	3601 x 3601 (1°x1°)
Разрешение	1 угловая секунда (30 м)
Географические координаты	Широта, долгота
Выходной формат ЦМР	GeoTIFF, 16 бит с битом знака, система координат WGS84/EGM96
Специальные значения	-9999 для пробелов в данных, 0 для воды
Охват	83° с.ш. - 83° ю.ш., 22,600 фрагмента (Version 1)
Объем на диске	25 963 980 байт (около 26 мегабайт)

Для использования цифровой карты была создана модель, разбивающая всю зону потенциально возможного обнаружения радиолокатором местных предметов (максимальная дальность  $D$ ) на множество азимутальных направлений и дискретов дальности. Дискреты дальности принимались равными элементу разрешения цифровой модели рельефа  $d$ , а их количество  $n$  определялось как  $n=D/d$ . Количество виртуальных азимутов  $m$  получалось делением длины окружности зоны видимости на элемент разрешения  $m=2\pi D/d$ .

Для каждого виртуального азимута решалась задача определения видимости каждого элемента разрешения по дальности (рис. 9).

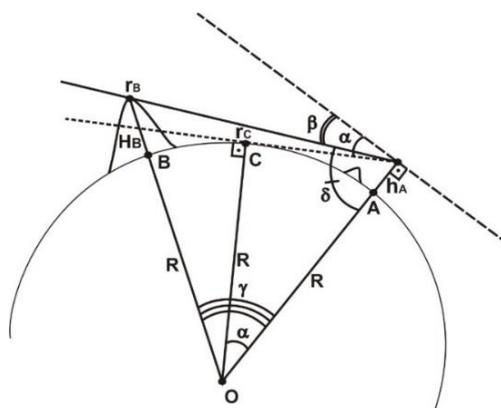


Рисунок 9 – Определение видимости участка местности

Для каждого элемента дальности, начиная с ближайшего от антенны радиолокатора и до дальности  $D$ , строился треугольник и определялся угол  $\delta$ . Определение угла производилось по теореме косинусов по трём сторонам треугольника. Одна сторона принималась равной радиусу Земли с добавлением высоты точки стояния радиолокатора и высоты подъёма антенны  $h_a$ . Другая сторона – радиус Земли плюс высота над уровнем моря в точке  $B$ . Третья сторона принималась равной расстоянию между точками стояния радиолокатора ( $A$ ) и точкой, для которой определялась её видимость ( $B$ ). Из рисунка видно, что участки рельефа ( $H_B$ ), лежащие ниже линии видимости локатора, им не фиксируются. В связи с этим наряду с аксиальной горизонтальной дискретностью по дальности необходимо учитывать вертикальную дискретность относительно граничной видимости локатора из-за кривизны земной поверхности.

Первый дискрет по дальности всегда считался видимым. Каждый следующий элемент разрешения признавался видимым, если угол  $\delta$  увеличивался, то есть «возвышался» над более близкими для локатора участками. Таким образом формировалась матрица элементов  $m \cdot n$ , в которой видимым участкам присваивалось единичное значение, а невидимым – нулевое. Так как географические координаты конкретной точки местности не совпадали точно с координатами элементов разрешения используемой модели рельефа, то высота конкретной точки линейно аппроксимировалась по известным высотам ближайших к ней четырёх точек с известными высотами. Пример построения совокупности «видимых» точек местности для РЛС в юго-восточной части Казахстана приведён на рисунке 10.

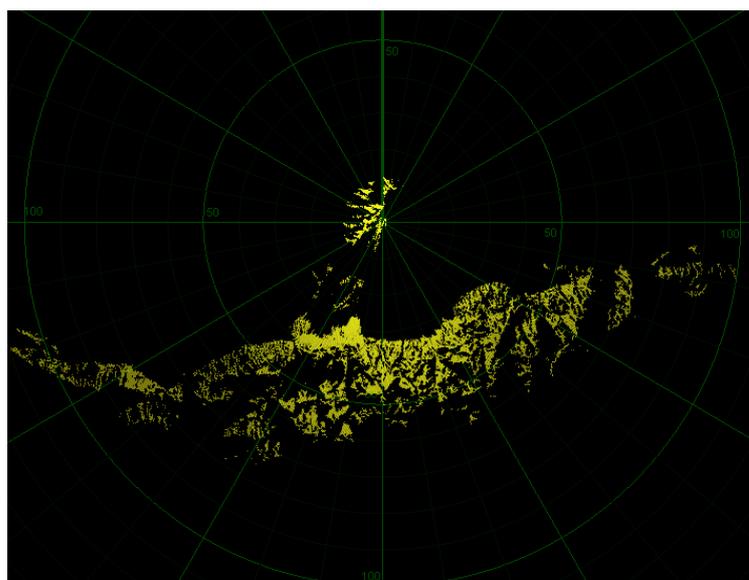


Рисунок 10 – «Видимые» участки местности по данным модели

Светлые точки в нижней части рисунка 10 – это горы Заилийского Алатау. Светлые точки в центре рисунка – это рельеф местности до линии горизонта в точке стояния радиолокатора. Для сравнения, на рисунке 11 представлена реальная радиолокационная картина местных предметов с той же точки стояния РЛС, для которой проводилось моделирование и в том же масштабе. Радиолокационное изображение было сделано без юстировки на «север» и с отключенным подавлением сигналов от местных предметов.

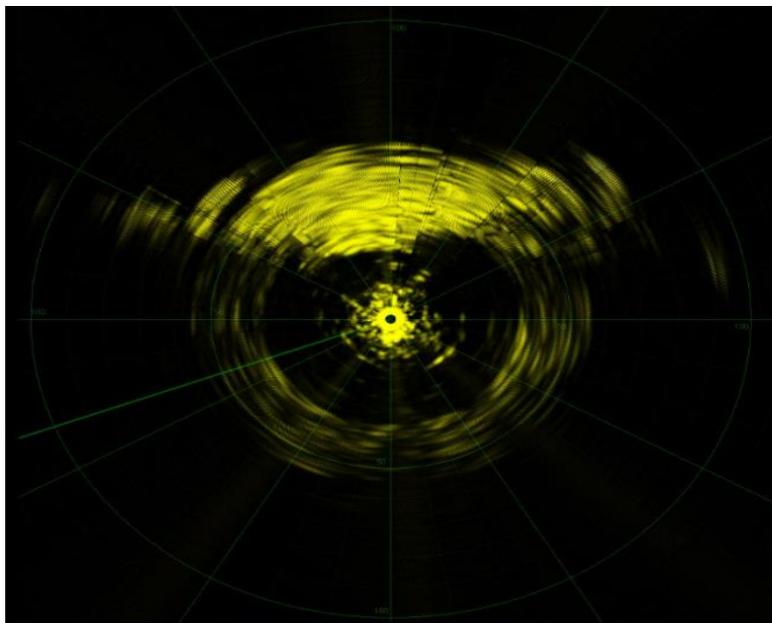


Рисунок 11 – Радиолокационное отражение от земной поверхности

Как видно из сравнения радиолокационных отражений с данными цифровой модели рельефа, структура местных предметов в целом совпадает, и видно, что отображение местных предметов повернуто по часовой стрелке на угол около 180 градусов относительно данных моделирования.

На рисунке 11 отражения от местных предметов «растянуты» по азимуту. Это связано с тем, что диаграмма направленности радиолокатора в горизонтальной плоскости имеет конечную ширину и принимает отражения не только от участков местности конкретного азимута, но и от смежных участков в пределах своего главного максимума. Виртуальное кольцо отражений, видимое на рисунке 11, не что иное, как сильные отражения от близких гор Алатау, принятые задним и другими лепестками антенны РЛС.

Для получения смоделированного радиолокационного изображения, наиболее близкого к реально наблюдаемому сигналу, требуется привести в соответствие сигналы от «виртуальных» точек отражения к сигналам от реальных элементов разрешения конкретной РЛС по дальности и углу. Для чего необходимо сначала привести число элементов разрешения по дальности, суммируя видимые сигналы всех стометровых дискретов, попадающих в конкретный дискрет разрешения РЛС, определяемый тактом оцифровки радиолокационной информации. Затем провести интегрирование полученных сигналов на каждой дальности поочередно для каждого разрешаемого углового азимута РЛС с весовыми коэффициентами, соответствующими реальной форме диаграммы направленности в азимутальной плоскости.

Определение угла, необходимого для корректировки азимутального показателя РЛС, можно осуществить посредством корреляционного сравнения принятых РЛС амплитуд сигналов и рассчитанных с помощью моделирования подобно способу, предложенному в [16]. Отличием от указанного способа будет то, что коэффициент корреляции необходимо будет рассчитывать, сдвигая принятый сигнал относительно смоделированного по углу до нахождения максимального значения коэффициента корреляции.

## **Выводы:**

Таким образом, можно сделать следующие выводы:

1. От точности определения ориентирных направлений на боевых позициях РЛС во многом зависит эффективность их боевой работы.
2. Определение дирекционных углов (азимутов) ориентирных направлений астрономическим способом не зависит от наличия на местности пунктов ГГС, является приемлемым по точности, не требует значительных затрат времени и простой по исполнению.
3. Астрономический способ определения ориентирных направлений позволяет подразделениям РТВ в установленные нормативами боевой работы сроки развернуться в боевой порядок с марша в неподготовленном в топогеодезическом отношении районе и выполнить боевую задачу.
4. Восстановление топографической обстановки по данным радиолокационных измерений по цифровым моделям рельефа, получаемым на основе методов КРИ, эффективно и перспективно.
5. При сопоставлениях цифровых моделей рельефа с их радиолокационным отображением необходимо при использовании нейронных сетей учитывать их горизонтальную и вертикальную дискретность взаимосвязи.

## **Список литературы**

1. Тактика боевых действий на Украине. – URL: <https://life.ru/p/1505506> (дата обращения 12.08.2023).
2. Коломиец А.Г., Каморный В.М. Основы геодезической астрономии и астрометрии: учебно-методическое пособие / Инженерная школа ДВФУ. – Владивосток: Дальневосточный федеральный ун-т, 2015. – С. 6–8.
3. Лебедева О.А. Картографические проекции. – URL: <http://nashaucheba.ru/v12320> (дата обращения 18.08.2023).
4. Математическая основа геоинформационных систем. – URL: <http://do.gendocs.ru/docs/index-161526.html>. (дата обращения 16.02.2023).
5. Пандул И. С. Астрономические определения по Солнцу для географов, геологов и топографов. – М.: НЕЛРА, 1983. – С. 7–9.
6. Федорук Е.К. Определение азимута астрономическим методом. – Семей: Колледж геодезии и картографии, 2016. – С. 6–7.
7. Параллактический треугольник. – URL: [https://ru.wikipedia.org/wiki/Параллактический\\_треугольник](https://ru.wikipedia.org/wiki/Параллактический_треугольник) (дата обращения 21.08.23).
8. Шлейко М.Е. Вычисление дирекционных углов из астрономических наблюдений // Бағдар. – № 2. – 2005. – С. 44–48.
9. Шлейко М.Е., Хон А. В. Astronom. – Алматы: НЦРЭС, 2004. – Компьютерная программа.
10. Хазов В.А. Военная топография и топогеодезическое обеспечение ракетных войск и артиллерии. – М.: Воениздат, 2008. – С. 142–144.
11. Дмитриев Д.Д. и др. Боевое применение подразделений РТВ ВВС. Радиолокационная станция П-18: [Учебное пособие] // Красноярск: СФУ, 2011. – 166 с.
12. Radar equations for modern radar. Author(s), Barton, David K. Publication, Norwood: Artech House, 2012. - 448 p.
13. Конкин Ю. В. Разработка системы определения координат летательного аппарата на основе совмещения радиолокационной и картографической информации // Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук, Рязанский государственный радиотехнический университет. – Рязань. – 144 стр.
14. Имансакипова Б.Б., Орынбасарова Э.О., Сдвижкова О.О., Айтказинова Ш.К., Шоганбекова Д.А. Новый подход к повышению точности измерения

деформаций земной поверхности методами космической радиолокационной интерферометрии.

15. Общее описание ASTER GDEM / «ГИС Лаборатория» <https://gis-lab.info/qa/aster-gdem.html>.

16. Способ оценки энергетического потенциала радиолокационной станции: пат.25343 РК / Батурина Е. Б., Васильев И. В.; заявл. 13.04.11; опубл. 15.12.2011, Бюл. № 12. – 3 с.

17. Кривицкого Б.Х. Справочник по радиолокационным системам: В 2-х томах, т.2. – М.:Энергия, 1979. –368 с.

18. Модернизированная радиолокационная станция П-18М (РЛС П-18М), Руководство по эксплуатации часть 1. Выбор позиции ДИФБ.464414.001 РЭ. СКТБ «ГРАНИТ», Алматы.

19. Модернизированная радиолокационная станция П-18М (РЛС П-18М), Руководство по эксплуатации часть 2. Размещение на позиции ДИФБ.464414.001 РЭ. СКТБ «ГРАНИТ», Алматы.

20. Шлейко М.Е., Лулаев Т.С-Э., Некоторые вопросы топогеодезической привязки позиций подразделений противовоздушной обороны. //Бағдар. – №42. – 2022. – С. 75–83.