Методика дешифрирования объектов местности на радиолокационных изображениях

Technique for interpretation locations on radar images

Левадный / Levadniy J.
Юрий Валерьевич
(Levada73@mail.ru)
кандидат военных наук.
ФГБВОУ ВО «Военно-космическая академия имени А. Ф. Можайского» (ВКА им. А. Ф. Можайского) МО РФ,
заместитель начальника кафедры.
г. Санкт-Петербург

Телеш / Telesh V.
Вадим Анатольевич
(pismo@telesh.ru)
кандидат технических наук.
ВКА им. А. Ф. Можайского,
доцент кафедры.
г. Санкт-Петербург

Ключевые слова: дешифрирование – interpretation; радиолокационное изображение – radar image; объекты местности – locations; топографические карты – topographic maps.

В статье приведены основные отличия радиолокационных изображений (РЛИ) от оптических, предложена методика дешифрирования объектов местности на РЛИ, а также рассмотрены особенности дешифрирования автомобильных и железных дорог, железнодорожных станций, виадуков и мостов, горной и равниной местности, рек и морских поверхностей, лесных массивов и сельскохозяйственных угодий.

The article represents key differences of radar images (RI) from optical ones, technique for interpretation of locations on RIs is proposed, and peculiarities of interpretation of motorways and railways, railway stations, viaducts and bridges, mountainous and flat terrains, rivers and sea surfaces, forest areas and agriculturally used areas.

Одной из основных задач топогеодезического обеспечения Вооруженных Сил Российской Федерации является обеспечение войск топографическими, специальными картами и цифровой картографической информацией различных видов. Топографические карты, поступающие на снабжение войск, должны в полной мере обеспечивать потребности всех видов и родов войск и отвечать их требованиям по точности, полноте и достоверности. При этом основным видом исходной информации для создания и обновления топографических карт служат материалы аэрокосмических съемок.

В настоящее время наряду с оптико-электронными системами получения видовой информации о местности активно развиваются радиолокационные системы. Они позволяют получать изображения земной поверхности в любое время суток при любых погодных условиях. Причем качество и разрешение получаемых РЛИ сходно с оптико-электронными.

Однако в связи с особенностями формирования РЛИ имеют ряд специфических отличий от оптико-электронных изображений [1]:

1. Яркость (градации серого цвета) тех или иных элементов снимка определяются не степенью освещенности Солнцем и другими источниками, а энергетическими характеристиками радиоканала радиолокатора с синтезированной апертурой антенны и отражательной способностью облучаемого вещества.
2. Радиолокационная тень от объекта на местности зависит не от освещённости, а от местоположения носителя радиолокационной аппаратуры – точки наблюдения.
3. Подвижные объекты на РЛИ смещены относительно своего реального местоположения.
4. Радиопрозрачные материалы не видны на РЛИ.
5. На РЛИ присутствуют аддитивные шумы, возникающие при синтезировании изображения и передачи радиосигнала.
6. РЛИ формируется в координатах «наклонная дальность – частота доплеровского сдвига», а не в традиционных плоских декартовых координатах местности.
7. Высотные объекты на РЛИ отображаются с геометрическими искажениями.
8. РЛИ всегда получены под углом к траектории движения носителя.

Различия изображений в разных частотных диапазонах (радиодиапазон и оптический) приводят к тому, что при создании и обновлении топографических карт дешифрирование РЛИ осуществляется по специальной методике, позволяющей получить больше информации об объектах местности.

Дешифрирование РЛИ является процессом обнаружения, опознавания и интерпретации объектов географического ландшафта и объектов антропо-

генной деятельности человека (объектов местности) по их характерным радиолокационным признакам. При дешифрировании любого РЛИ необходимо провести следующие операции:

– обнаружить объект или группу объектов на изображении;

– опознать объект или группу объектов на изображении;

– проанализировать обнаруженный объект или группу объектов на изображении и определить количественные и качественные характеристики;

– нанести обнаруженный объект на топографическую карту или внести необходимые изменения в существующую топографическую карту.

Опознавание объектов местности при дешифрировании РЛИ и их опознавание производятся путем изучения изображений объектов по их дешифровочным признакам, которые бывают прямые и косвенные [2].

К прямым дешифровочным признакам РЛИ относят:

1. Тон изображения объекта местности на РЛИ. Он непосредственно связан с отражающими свойствами объекта. Чем больше эффективная площадь рассеяния объекта, тем светлее его изображение на снимке. Тоновый контраст РЛИ позволяет с одной стороны выявить границы различных объектов, а с другой стороны, установив разницу их отражающих способностей, сделать вывод об их природе и «характере».

2. Форма изображения объекта местности дает возможность сделать вывод о его характере. По форме линейного объекта распознают дороги, линии электропередач, трубопроводы, русла рек, ручьев и т.д.

3. Размер изображения объекта местности позволяет сделать определенное суждение о его особенностях и с учетом специфики формирования РЛИ определить его действительные размеры.

4. Радиолокационная тень – это специфическая особенность РЛИ, обусловленная отсутствием отраженных сигналов в определенном интервале дальности из-за экранирующего действия стоящего на пути электромагнитных волн объекта. На РЛИ тень представляет собой темный участок. Конфигурация тени зависит от формы и высоты объекта наблюдения, а также условий наблюдения его с летательного аппарата.

Косвенные дешифровочные признаки имеют очень важное значение при дешифрировании РЛИ. Они характеризуют взаимосвязи между наблюдаемыми объектами местности. Косвенные признаки позволяют распознать обнаруженные объекты местности без привлечения дополнительной информации.

К косвенным дешифровочным признакам РЛИ относят:

1. Местоположение объекта местности.

2. Состояние объекта местности.

3. Взаимная связь объектов местности.

4. Посторонние окружающие объекты, позволяющие сделать вывод по дешифрируемому объекту местности.

Процесс дешифрирования РЛИ бывает:

– непосредственный или полуинструментальный;

– инструментальный или автоматический.

При непосредственном процессе дешифрирования оператор зрительно рассматривает снимок и, основываясь на своем опыте и выявленных дешифровочных признаках изображения, обнаруживает и опознает объекты местности. При этом он может использовать специальное программное обеспечение, позволяющее улучшить условия наблюдения, определить количественные характеристики объектов. Выводы при непосредственном процессе дешифрирования делает человек.

В инструментальном процессе дешифрирования некоторые операции выполняет ЭВМ с использованием специального программного обеспечения. Весь процесс дешифрирования можно представить в виде четырёх этапов: обнаружение, опознание, анализ и нанесение на топографическую карту [3].

Эти этапы могут быть разнесены по месту, времени и выполнению, что облегчает возможность автоматизации дешифрирования. При инструментальном процессе дешифрирования предполагается, что, по крайней мере, одна из четырех операций дешифрирования (обнаружение, опознавание, анализ и нанесение на топографическую карту) выполняется без участия в ней человека.

В настоящее время полностью все операции дешифрирования машина выполнить не может. Наибольшую сложность представляет анализ обнаруженных объектов местности.

Дешифрирование РЛИ начинается с этапа общего ознакомления с дешифровочной обстановкой [4]. Изучается топографическая карта, район картографирования, изображенные объекты географического ландшафта и объекты антропогенной деятельности человека. Просматривается РЛИ исследуемого района, обнаруживаются и распознаются элементы местности и крупные сложные объекты. Формируется общее представление о районе съемки, и выбираются участки для детального дешифрирования.

Затем проводится детальный анализ РЛИ, в ходе которого обнаруживаются и распознаются простые объекты местности по их прямым и косвенным дешифровочным признакам с использованием информации, полученной при анализе ландшафта и сложных объектов местности. Измеряются координаты и размеры объектов.

При дешифрировании РЛИ используют зависимости между характером отражающих поверхностей и тоном изображения, а также привлекают данные об интенсивности отражения радиоволн и характере РЛИ искусственных объектов.

Анализ РЛИ проводится по следующей методике:

1. Ориентируют РЛИ таким образом, чтобы светлые части изображения были направлены от дешифровщика, а тени – к дешифровщику.

2. Выделяют площади изображения одного вида (однородной структуры).

3. Проводят анализ выделенных площадей, выделяя контуром при этом элементы светлого и темного тонов и их геометрической конфигурации.

4. Определяют радиолокационные тени (размеры, форму, направление).

5. Определяют структуру изображения (гладкая, зернистая, пятнистая, грубая, нерегулярная макроструктура).

6. Оценивают характер местных водотоков (дендриты, параллельные, серповидные и т.д.), выделяют площади, в которых отсутствуют водотоки, и, наоборот, площади с высокой степенью развития водосточных систем, оценивают плотность водотоков.

7. Производят оценку топографии местности.

8. Выявляют характер рельефа по величине и форме радиолокационных теней и плотности водотоков.

9. Определяют топографические объекты местности по среднему тону изображения и относительному контрасту.

10. Оценивают вид искусственных объектов.

11. Осуществляют общую оценку исследуемой площади по виду и взаимному расположению распознанных объектов местности.

12. Наносят новые объекты местности на топографическую карту или корректируют существующую топографическую карту.

Дешифрирование изображений среднего и мелкого масштаба рекомендуется выполнять в следующей последовательности [5]:

1) населённые пункты;
2) линии связи электропередач;
3) дорожная сеть;
4) рельеф;
5) гидрография;
6) растительность;
7) другие объекты.

Рассмотрим подробно последовательность дешифрирования объектов местности.

Дешифрирование населенных пунктов

На РЛИ населенные пункты распознаются по характерным для них прямолинейным формам, по светло-серому тону изображения, темным магистралям и дорогам, по радиолокационным теням [6].

Дешифрирование выполняется по кварталам или хорошо просматриваемым отдельным зданиям. Внутри населенных пунктов дешифрируются гидрография, растительность, магистральные улицы, всевозможные дороги и улицы, отдельные здания, заводы и т.д.

Изображение населенных пунктов на РЛИ является как бы изображением их на крупномасштабных топографических картах. Большинство промышленных объектов имеют свои специфические признаки, которые могут помогать в распознавании объектов по эталонам.

Крупные населенные пункты, с точки зрения отражающих свойств, представляют собой большое разнообразие. Высокие металлические и железобетонные сооружения промышленных районов дают сильное отражение рассеянно-направленного действия. Поэтому промышленные районы населенных пунктов изображаются в виде ярко светящихся пятен.

Населенные пункты и города с высокими каменными строениями и железными перекрытиями также будут давать рассеянно-направленные отражения, но меньшей интенсивности. Поэтому они изображаются светящимися пятнами несколько меньшей интенсивности свечения, чем промышленные районы. Районы с деревянными и низкими каменными строениями, имеющие смешанные перекрытия (соломенные, деревянные и черепичные), обладают рассеянным отражением и изображаются слабо светящимися пятнами.

Рассеянно-направленное отражение от городских объектов носит сложный характер. Сами по себе гладкие поверхности от высоких домов, крыш будут давать смешанное отражение, поэтому яркость изображения той или иной поверхности будет зависеть от того, под каким углом она облучается. В тех случаях, когда углы падения и отражения облучающих и отраженных лучей малы, лучи близки к нормали – получается яркое изображение. Особенно сильная направленность переизлучения возникает при наличии на просматриваемых объектах множества плоскостей, имеющихся в городских кварталах. Особое внимание следует обратить на то, что в городских кварталах с высокими зданиями часто будут встречаться комбинации из двух и трех плоских поверхностей, расположенных под прямым углом. За вертикальные поверхности можно принимать стены высоких зданий. За горизонтальные – поверхность земли, примыкающую к этим зданиям. Направленность отражения таких гигантских рефлекторов будет в основном зависеть от зеркальных свойств поверхностей.

Дешифрирование дорог

На РЛИ дороги имеют светло-серый, серый и темно-серый тон. При наличии высоких насыпей возникают тени. Если линейные размеры объекта наблюдения протяженные, то, несмотря на малые размеры по ширине (менее 0,1 мм), объект хорошо просматривается на РЛИ [6].

Железные дороги имеют хороший демаскирующий признак – большие прямолинейные участки с большим радиусом закруглений и с постоянной шириной полотна. Наличие косвенных признаков, таких как разъезды, запасные пути, железнодорожные сооружения, помогают распознаванию.

Шоссейные дороги также распознаются по своей форме, но они более криволинейны, нет теней, так как шоссейные дороги обычно повторяют рельеф местности. Косвенным признаком служат культурные посадки вдоль дороги (рис. 1).

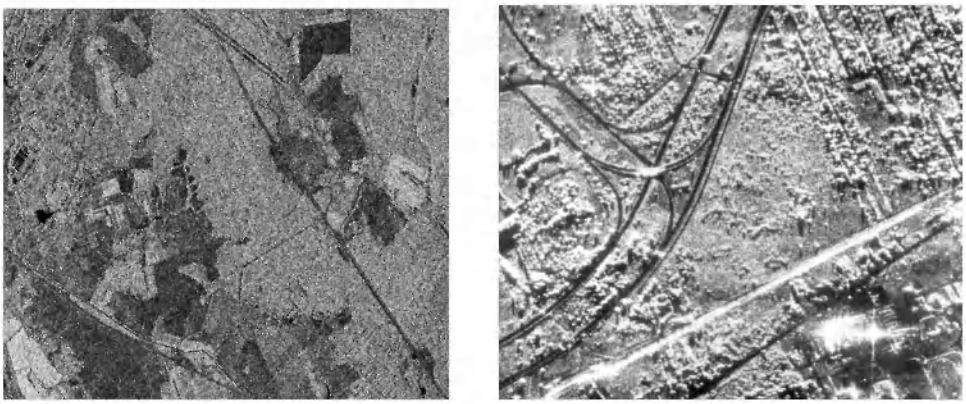

Рис. 1. Автомобильные и железные дороги на РЛИ

Рис. 2. Железнодорожная станция, виадуки и мосты на РЛИ

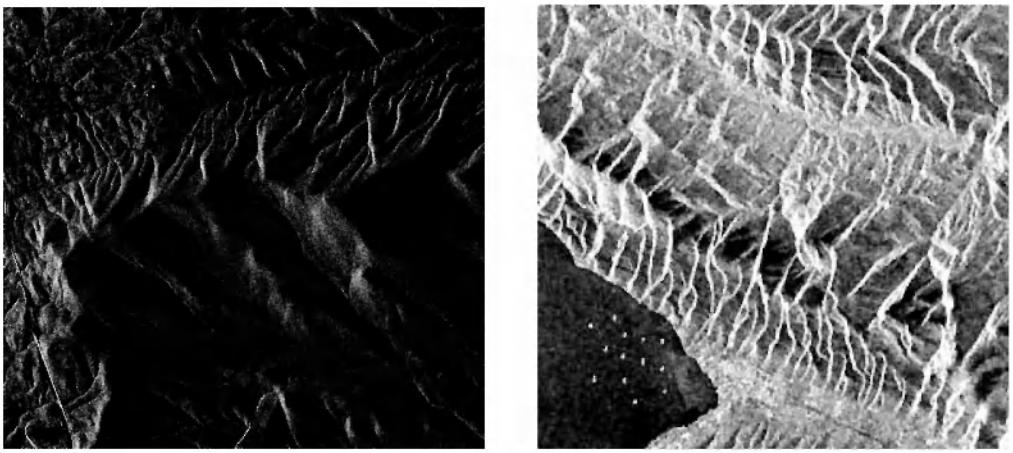

Рис. 3. Горная местность на РЛИ

Железные и шоссейные дороги не имеют четкого различия на РЛИ. Яркость засветок от насыпей зависит от дальности до них, угла наклона антенны, направления излучаемой энергии и размеров самих насыпей.

Если направление полета носителя радиолокатора совпадает с направлением дороги, то на РЛИ дорога имеет более светлый тон; если направление пути перпендикулярно, то – более темный.

Дешифрирование электрифицированных железных дорог упрощается, так как опоры столбов имеют высокую отражательную способность и всегда изображаются на РЛИ. Железнодорожные мосты на изображении дают устойчивую яркую засветку с любой высоты. Мосты изображаются в виде точек и полосок в зависимости от размера мостов и расстояния до них. Изображение мостов на черном фоне воды будет резко контрастным. В зависимости от размеров, масштаба и курсового угла мосты могут иметь форму от вытянутого эллипса до точки. Наличие большого количества металла на мостовых фермах обеспечивает сильное отражение энергии, которая имеет сложный характер как результат отражения от многих металлических участков. Это одна из причин некоторого изменения в форме и яркости свечения изображения мостов в зависимости от курсового угла.

Распознавание железнодорожных узлов на РЛИ зависит от их размеров. Небольшие железнодорожные узлы с наличием стационарных сооружений изображаются в виде небольших засветок (рис. 2). Яркость световой засветки усиливается, если железнодорожный узел имеет виадуки или перекидные мосты.

Крупные железнодорожные узлы, расположенные в черте города или крупного населенного пункта, дают также устойчивую засветку, видимую с любого направления и со всех высот.

Дешифрирование рельефа

Рельеф местности существенно влияет на характер отраженного сигнала в зависимости от ориентации физических поверхностей, что приводит к различной «плотности» тона РЛИ.

В горных районах тон изображения зависит от ориентировки наклонных поверхностей относительно падающего луча (сигнала радиолокационной станции). Светло-серым тоном изображаются склоны, обращенные к источнику излучения, а противоположные склоны закрыты от непосредственного попадания радиосигнала и имеют темный тон РЛИ (рис. 3).

В равнинных районах важную роль играет ориентировка отдельных форм, шероховатость поверхности, растительный покров, влажность и т.д. (рис. 4).

При дешифрировании почв основное влияние на тон РЛИ оказывают проводимость и диэлектрическая проницаемость, характер шероховатости поверхности. Ослабляющее влияние на отраженный от почв сигнал оказывает растительность (прохождение сигнала к почве и обратно). Однако растительность является и индикатором при дешифрировании почв, особенно в аридных районах, где незначительные изменения во влажности приводят к изменениям в растительности.

Рельеф является также важным индикатором при дешифрировании почв, так как в зависимости от рельефа меняется увлажненность, мощность почвенного покрова, засоленность, водный режим. Наиболее темный тон соответствует луговым почвам. Абсолютно белым тоном изображаются солонцы и солонцеватые почвы на суглинистом аллювии высоких террас и под полукустарниковой растительностью на низких террасах.

Песчаные почвы имеют различные формы рельефа. Волнистыми светло- и (или) темно-серыми линиями в зависимости от направления облучения изображаются склоны гряд. Бугры, закрепленные кустами саксаула, приводят к зернистой структуре. Дюнные гряды имеют полосчатый рисунок «ряби», отображающей внутреннее строение структуры.

Дешифрирование гидрографии

Водная поверхность легко распознается на РЛИ по темному тону изображения, а также характерной для рек, озер, морей прибрежной полосы, кривизне береговой линии. Береговая линия хорошо просматривается на РЛИ по контрасту изображения (рис. 5).

Если направление полета носителя РСА перпендикулярно водным участкам, то на РЛИ русло реки после обнаружения вычерчивается непосредственно с показом видимой ширины реки, если же направление линии пути совпадает с направлением течения реки, то из-за теней установить истинные размеры русла затруднительно [6].

Чтобы охарактеризовать берега, т.е. оценить их высоту, обрывистость, песчаность и т.д., необходимо обратить внимание на тон РЛИ и тени. Светлый тон РЛИ, окаймляющий изображение водной поверхности, свидетельствует о крутом береге. Длинные тени говорят о высоких, обрывистых берегах, короткие тени или без теней – о пологих. Темный тон РЛИ за береговой линией свидетельствует о низких заболоченных местах.

Острова, мосты и плотины просматриваются по изменению тона РЛИ: светло-серые места водной поверхности, имеющие неправильные формы, соответствуют отмелям, светлый тон – острову; если форма границ правильная, то это мосты, плотины.

Дешифрирование выполняется с использованием топографических карт, позволяющих выделить гидрографию, имеющуюся на РЛИ и сосредоточить все внимание на изобразившихся элементах местности, которых нет на топографической карте.

При дешифрировании болот необходимо определить их границу и возможность прохождения по ним. Так как болота (водная поверхность) хорошо просматривается на РЛИ по темному тону изображения, то светлые участки в виде различных полос могут быть

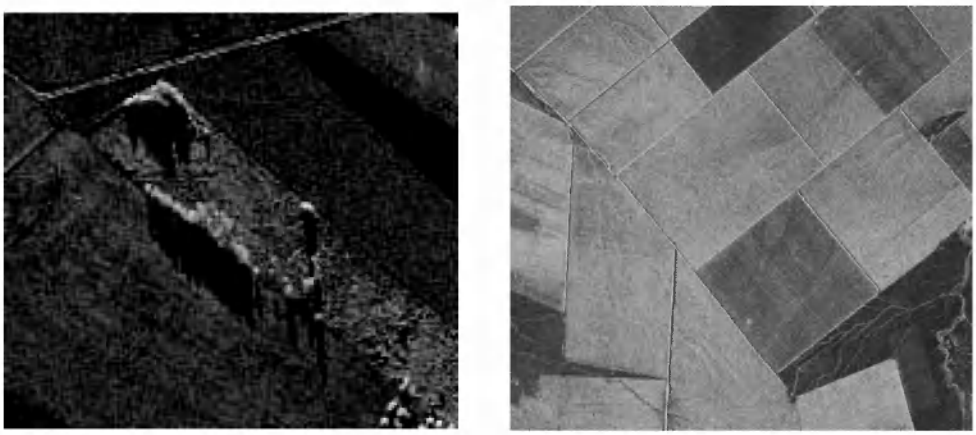

Рис. 4. Равнинная местность на РЛИ

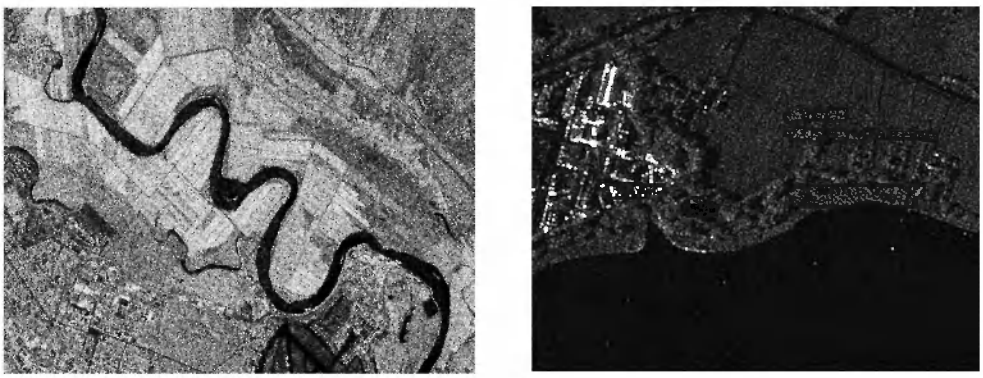

Рис. 5. Река и морская поверхность на РЛИ

Рис. 6. Русло реки на РЛИ

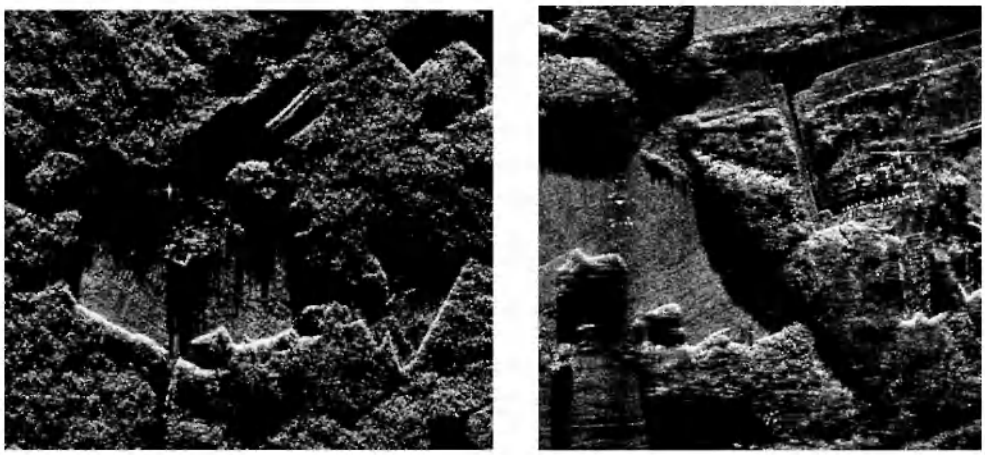

Рис. 7. Лесные массивы на РЛИ

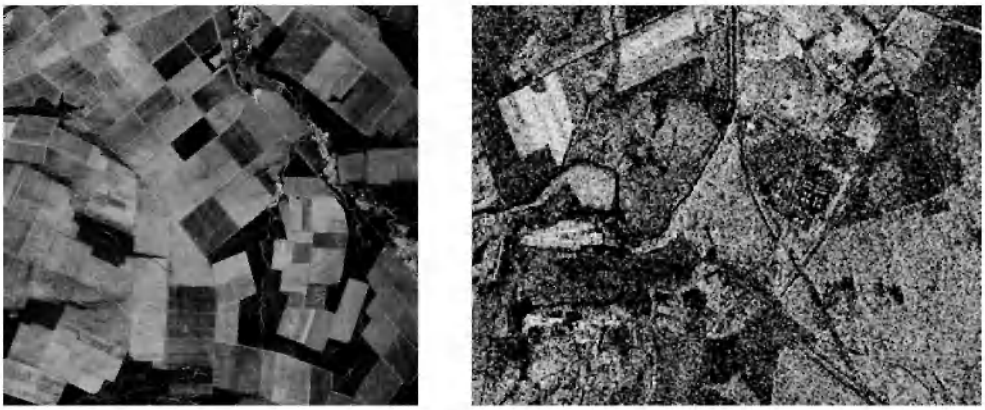

Рис. 8. Сельскохозяйственные угодья на РЛИ

лесными участками (тень РЛИ) или кустарником (при этом радиолокационная тень не просматривается). Но это позволяет сделать вывод, что данный тип болот проходим, непроходим или труднопроходим.

Спокойную водную поверхность можно считать за зеркальную. Поэтому падающая на эту поверхность энергия электромагнитной волны отразится от нее под углом, равным углу падения, и к антенне РЛС не возвратится. Следовательно, водная поверхность на экране РЛС изобразится в виде темного пятна с конфигурацией, зависящей от формы водоема.

Озера больших размеров, расположенные в равнинной местности, даже при дальнем обзоре изображаются в виде резко выраженного темного пятна, полностью повторяющего конфигурацию водоема.

Расположенные в равнинной местности озера с заболоченными низкими берегами видны менее отчетливо. Их конфигурация очерчена нерезко, края сливаются с изображением низких заболоченных берегов. Особенно хорошо видны на РЛИ озера с высокими берегами – их границы ярко очерчены.

Морскую поверхность с волнением, вызванным ветром, нельзя рассматривать как зеркальную поверхность. Она будет шероховатой поверхностью, которая даст рассеянное отражение. Сильное морское волнение дает отражение сигналов значительной интенсивности. Морские отражения будут несколько интенсивнее против ветра и наблюдаются в незащищенных частях гавани портов и в открытом море. При обнаружении на РЛИ судов необходимо учитывать, что импульсы от морских волн засвечивают экран и маскируют изображение кораблей. Чтобы не принять засветку от кораблей за острова (так как засветки от тех и других могут быть одинаковыми), следует изображения сличать с топографической картой.

Характер изображения водоемов в большей степени зависит от времени года. Наличие ледяного покрова осенью и зимой почти не сказывается на характере

изображения, следовательно ледяной покров дает в основном зеркальное отражение. Исключение составляют торосистые льды. Наличие на льду снегового покрова достаточно большой толщины вызывает отражение, поэтому отличать водоем с мелкими заболоченными берегами от окружающей снежной равнины затруднительно.

Тоновые различия на зимних РЛИ узких речных пойм связаны с ориентированием этих долин по отношению к направлению съемки. При расположении долин вдоль направлений луча съёмки получаются более светлые по тону РЛИ. Реки выделяются в виде извилистых полосок или лент, а озера имеют резко очерченные (на летних снимках) округлые контуры. Тон их чаще всего одинаково ровный, преимущественно темный, почти черный. На зимних РЛИ озера имеют серый тон. Русла мелких лесных рек получают четкое изображение только в том случае, когда они расположены поперек луча радиолокационной съемки (рис. 6).

Анализ РЛИ морских льдов и водных пространств показывает, что на РЛИ возможно распознавание границы между водой и сушей, разливов и наводнений, а также льдов в их ранней и средней стадии, больших и громадных размеров участков льда в море и океане.

Дешифрирование образований льда выполняется в интересах определения оптимальных морских трасс, метеорологических и академических изысканий. Прогноз ледяных образований связан с процессом дрейфа, разрушением льда, морскими течениями, приливами и отливами, ветрами и другими физическими факторами.

Большое значение для навигации имеет обнаружение льда и определение его курса, толщины и концентрации, особенно в ранней стадии его образования. Эти данные могут быть получены по разнице тона воды и льда, таящего льда и шуги.

При дешифрировании льдов необходимо учитывать, что льдины диаметром более 50 м изображаются на РЛИ площадными фигурами, форма которых соответствует формам льдин.

Дешифрирование растительности

Растительность на РЛИ распознается сравнительно легко. Светлый тон изображения, а также структура позволяют говорить о распределении лесных массивов, кустарников и культурных посадок [6, 7]. Известно, что кустарники наиболее вероятно располагаются в заболоченных местах, поймах рек и т.д. – это является косвенным признаком. Важным признаком являются тени по границе лесного массива. Для определения типа деревьев необходимо производить эталонирование по структуре РЛИ. Это позволит получать количественные и качественные характеристики для лесных массивов.

Высота леса может быть определена по теням, но в связи с тем, что тень в зависимости от границы леса и линии пути имеет различную длину, необходимо определять высоту леса по 3–5 точкам и брать среднее значение. Необходимо выбирать точки на границе леса, которые расположены по перпендикуляру к линии пути (рис. 7).

Культурные посадки, парки, просеки распознаются по тону изображения (рис. 8).

Сельскохозяйственные угодья отличаются от лесных массивов по более темному тону. На летних снимках видны границы полей севооборотов, на зимних общий тон изображения ровный и имеет зернистую структуру. На летних снимках луга и сенокосы сравнительно легко определяются по расположению около рек, среди меандр, в низменных долинах рек и часто имеют однообразный темновато-серый тон. Кустарники изображаются в виде серых, слегка зернистых пятен.

Заключение

Таким образом, основным видом исходной информации для создания и обновления топографических карт помимо оптико-электронных материалов аэрокосмических съемок в настоящее время являются РЛИ. Процесс обработки всех материалов предусматривает не только обнаружение и распознавание объектов местности, но и определение их количественных и качественных характеристик.

В результате использования предложенной методики повышается качество и достоверность дешифрирования объектов местности на РЛИ.

Литература

1. Телеш, В. А. Сравнительный анализ яркости изображений различных типов подстилающей поверхности при наблюдении с помощью РСА при различных вариантах съемки / В.А. Телеш // Труды 24 Всероссийского симпозиума «Радиолокационное исследование природных сред». Санкт-Петербург, 18–20 апреля 2006 г. – С. 160–168.

2. Козлова, И. В. Дешифрирование аэрофотоснимков при картографировании ландшафтов: Учебно-методическое пособие / И.В. Козлова. – Томск: Изд-во ТПУ, 2006. – 38 с.

3. Головина, Л. А. Топографическое дешифрирование снимков. Учеб.-метод. пособие / Л.А. Головина, Д.С. Дубовик. – Новосибирск: СГГА, 2011. – 60 с.

4. Лабутина, И. А. Дешифрирование аэрокосмических снимков / И.А. Лабутина. – М.: АСПЕКТ ПРЕСС, 2004. – 184 с.

5. Живичин, А. Н. Дешифрирование фотографических изображений / А.Н. Живичин, В.С. Соколов. – М.: Недра, 1980. – С. 18–24.

6. Аковецкий, В. И. Дешифрирование снимков / В.И. Аковецкий. – М.: Недра, 1983. – 376 с.

7. Топографическое дешифрирование снимков: Учебное пособие / О.А. Мищенков [и др.]. – СПб.: ВКА имени А.Ф. Можайского, 2007. – 192 с.