

МЕТОДИКА НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

УДК 528.7 : 551.4 : 551.451.8

МОЖАЕВА В. Г., СЕМЕНОВА Н. Н.**ОПТИМАЛЬНЫЕ УСЛОВИЯ ПОЛУЧЕНИЯ
РАДИОЛОКАЦИОННОГО ИЗОБРАЖЕНИЯ ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ
РЕЛЬЕФА И РЫХЛЫХ ОТЛОЖЕНИЙ АРИДНЫХ ТЕРРИТОРИЙ**

В статье рассматриваются вопросы применения радиолокационной съемки при геоморфологическом картировании, структурно-геоморфологическом анализе и при картировании рыхлых отложений. Детально анализируются сезонные и технические условия проведения РЛ-съемки для каждого вида работ и даются рекомендации оптимальных условий ее проведения.

Радиолокационная съемка (РЛС), являющаяся источником обширной и разнообразной информации, в последние годы широко внедряется в практику геологических работ. Результаты экспериментальных методических и региональных исследований, проведенных Лабораторией аэрометодов ВНПО «Аэрогеология» в аридной зоне, позволяют рекомендовать использование материалов РЛС в целях изучения рельефа и рыхлых кайнозойских отложений.

В отечественной литературе уже достаточно широко освещены результаты использования РЛС в геологических исследованиях (Стрельников, 1971; Комаров и др., 1974; Задорина и др., 1976; Беззубцев и др., 1974; Глух, Алферов, 1973, и др.). В иностранной литературе эти же вопросы затронуты в ряде работ (Gelnett, 1974; Erpes, 1971; Wing, 1970). Более ранние исследования включены в сводку зарубежных публикаций (Стрельников, 1971).

Публикации по использованию РЛС для изучения рельефа и рыхлых отложений немногочисленны и содержат весьма краткие сведения (Семенова, Можаяева, 1973; Старостин и др., 1973; Астахов и др., 1976). Зарубежные исследования в этом направлении носят рекогносцировочный характер. Все исследователи отмечают ряд преимуществ материалов РЛ-съемки, что в большинстве случаев позволяет привлечь их в качестве дополнительного источника информации при решении геологических и геоморфологических задач. Одним из преимуществ является всепогодность метода, обеспечивающая получение материалов радиолокационной съемки тех районов, где проведение аэрофотосъемки значительно затруднено или вообще невозможно, в частности в северных широтах. Возможность проведения РЛ-съемки в сложных метеорологических условиях позволяет получать оперативную информацию о состоянии поверхностных отложений, что может использоваться в индикационных целях при дешифрировании рельефа и рыхлых отложений. Мелкомасштабность РЛ-снимков (1 : 100 000 и 1 : 200 000) обеспечивает высокую обзорность и генерализацию изображения земной

поверхности, исключает пестроту изображения и облегчает тем самым выполнение региональных исследований.

Наряду с достоинствами РЛС отмечаются и ее недостатки. Затруднения при получении стереомодели местности и малая разрешающая способность РЛ-аэроснимков ограничивают их использование, например, при крупномасштабном отраслевом картировании. Мешают и искажения масштабов на РЛ-аэроснимках, обусловленные конструкцией системы.

Однако несмотря на указанные недостатки, с помощью материалов РЛ-съемки могут решаться многие задачи изучения рельефа. Важнейшими из них являются: составление схематических геоморфологических карт (масштаба не крупнее 1:100 000); проведение структурно-геоморфологического анализа и поиски новейших локальных структур закрытых территорий, установление индикационных связей рельефа с литолого-петрографическим составом пород фундамента и дешифрирование вещественного состава последнего в горных районах; структурно-тектоническое дешифрирование (и особенно разрывной тектоники) в горных и равнинных областях и под покровом рыхлых кайнозойских отложений и др.

Ландшафтный подход к дешифрированию РЛ-снимков позволяет получать данные о характере рыхлых кайнозойских покровов равнин и межгорных впадин. Наиболее надежно устанавливаются их генезис и вещественный состав, ориентировочно оценивается также мощность рыхлых отложений.

Указанные задачи решались на полигонах Казахстана и Средней Азии, где Лабораторией аэрометодов была проведена съемка радиолокационной системой бокового обзора «Торос» и произведены наземные исследования по выявлению признаков дешифрирования и факторов, влияющих на формирование РЛ-изображения (РЛИ). Часть исследованной территории с разнообразными типами рельефа была многократно покрыта РЛ-съемкой в разные сезоны и при различных технических условиях.

Рельеф. Как известно, тон и структура РЛИ определяются морфологией рельефа (Задорина и др., 1976; Комаров и др., 1974). Большие относительные превышения и крутые склоны горного рельефа обуславливают контрастные изображения с крупными элементами структуры рисунка светло- и темно-серых тонов и с обилием черных пятен РЛ-теней, возникающих за вершинами и гребнями возвышенностей. Чем больше вертикальное расчленение, тем контрастнее рисунок. Поэтому изучение высоко- и даже среднегорного рельефа альпийского типа проводить по материалам РЛ-съемки нерационально, так как радиотени занимают до 40—50% площади снимка. В этих условиях лучше использовать высотные или космические фотоснимки.

В условиях низкогорного или холмистого рельефа при решении таких задач, как геоморфологическое картирование, структурно-геоморфологический анализ, установление литоморфных связей рельефа и т. д., использование РЛС целесообразно. При этом нужны РЛ-снимки, полученные с возможно больших высот: 6000—4500 м, на которых увеличение углов облучения ведет к уменьшению площадей РЛ-теней. Радиолокационное изображение участков местности, попадающих в зону радиотеней при одном залете, может быть получено при изменении ориентировки сканирующего луча на 180° при повторном залете. В отдельных случаях, например при структурно-тектоническом дешифрировании, наличие РЛ-теней можно использовать как положительный фактор: поскольку они подчеркивают простирающие литоморфных разновидностей рельефа, по ним легче проследить элементы пикативных структур или разломы. Для изучения особенностей рельефа гор лучше использовать РЛ-снимки, полученные при залетах

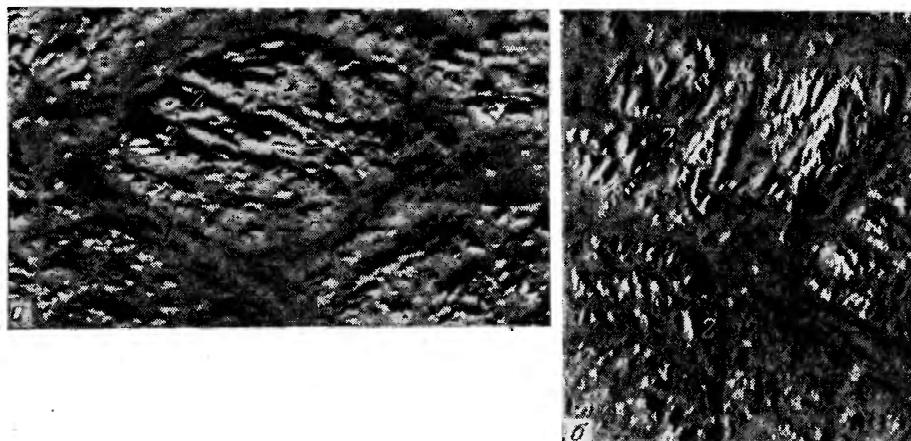


Рис. 1. Фрагменты РЛ-снимков мелкосопочника Казахстана:
а — широтный залет, б — меридиональный залет. Цифры на снимках: 1 — широтно-ориентированные лого; 2 — меридионально-ориентированные лого

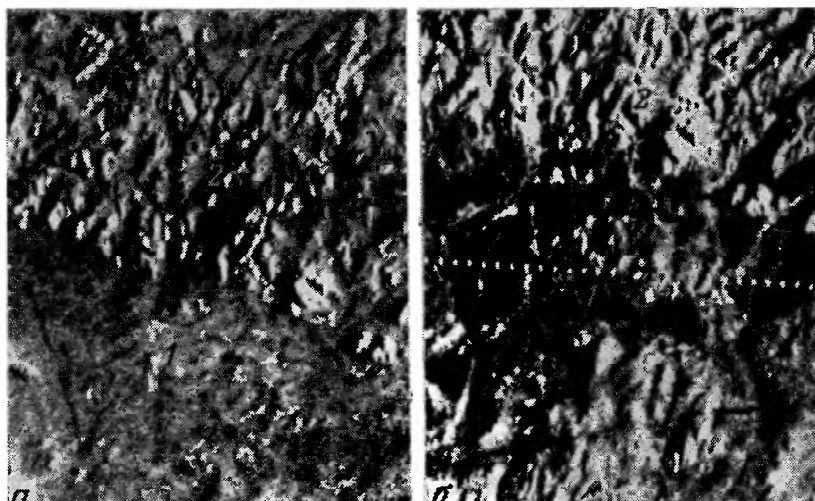


Рис. 2. Фрагменты РЛ-снимков с изображением равнинного (на снимках помечен цифрой 1) и мелкосопочного рельефа эффузивно-осадочных отложений палеозоя (на снимках помечен цифрой 2):

а — залет меридиональный, высота съемки 1800 м, зимний аспект; б — залет меридиональный, высота съемки 3000 м, ранневесенний аспект. На снимке а линия белых точек — опоры ЛЭП

параллельных простирацию основных форм рельефа, так же как при изучении геологического строения — параллельных простирацию основных структур (рис. 1, а).

Сезон проведения РЛ-съемки (весна, лето, осень) для горного рельефа мало значим, так как здесь РЛИ формируется в первую очередь крутыми склонами гор и вершинными элементами горного рельефа. Влияние мелких неровностей склонов, растительности, физических свойств рыхлых отложений, залегающих в понижениях и претерпевающих изменения в зависимости от сезона, в данном случае отступает на второй план. Нежелательно производить РЛ-съемку горных территорий в зимнее время.

Масштаб РЛ-съемки при изучении горного рельефа выбирается в зависимости от поставленной задачи: для проведения регионального



Рис. 3. Фрагмент РЛ-снимка с изображением рыхлых отложений цокольной равнины

Цифры на снимке: 1 — линейно-ориентированные увлажненные пониженные участки, трассирующие разлом

структурного анализа лучше получить мелкомасштабные материалы (1:200 000), при решении вопросов картирования — более крупномасштабные (1:100 000).

Радиолокационное изображение равнин отличается от изображения горных территорий в целом меньшей контрастностью. РЛИ равнинного рельефа имеет в общем серые и темно-серые тона с отдельными белыми и светлыми пятнами, но переходы тонов плавные и характер рисунка спокойный (рис. 2, а, 1). Требования, предъявляемые к материалам РЛ-съемки при изучении равнин, также определяются целями и задачами дешифрирования. Если РЛ-съемка производится на территории аккумулятивных равнин, то особое значение приобретает сезон проведения съемки, поскольку он определяет изменение некоторых физических свойств пород (например, влажности), являющихся в данном случае существенным фактором формирования РЛИ.

При структурно-геоморфологическом анализе равнин и поисках локальных новейших структур наиболее рационально использовать РЛ-снимки с максимально контрастным изображением, на которых за счет радиотеней фиксируются все неровности поверхности — совокупность структурно-обусловленных микро- и мезоформ рельефа, а также растительный покров. Поэтому для этих целей рационально использовать РЛ-снимки, полученные с минимальной для РЛСБО «Торос» высоты — 3000—1500 м. Плановое расположение РЛ-теней, возникающих при малых углах сканирования от положительных мезоформ, и интегральное изображение структурно-обусловленных микроформ рельефа позволяет дешифрировать пликативные структуры равнин, находящиеся на различных уровнях эрозионного среза, даже погребенные под чехлом рыхлых отложений (рис. 2, а, б). Для решения этих задач должно быть учтено направление залетов: лучше, если осевая линия полета располагается параллельно простиранию основных форм макрорельефа. Именно в этом случае отчетливо дешифрируются основные протяженные элементы геоморфологического строения равнин, даже если они слабо выражены. На снимках, полученных при залетах вкрест простирания основных форм рельефа и геологических структур, отчетливее проступают поперечные линеаменты и связанные с ними эрозионные впадины, ступени, аккумулятивные формы.

Как известно, РЛ-снимки дают особенно хорошие результаты при дешифрировании разрывных тектонических нарушений равнинных территорий, в том числе и перекрытых чехлом рыхлых осадков значительной мощности. Зоны тектонических нарушений на равнинах даже

при отсутствии фиксирующих их четко выраженных специфических форм рельефа, трассируются по сплошным или фрагментарным темно-серым полосам, точкам или пятнам на РЛИ (рис. 3). Потемнение тона РЛИ происходит за счет изменения физических свойств рыхлых отложений, приуроченных к зонам тектонических нарушений. Аномальные значения влажности (3—9% по сравнению с 0,5—1% окружающих участков), плотности (поверхностная 1,15—1,05 г/см³ по сравнению с 1,35—1,45 г/см³ и глубинная 1,55—1,35 г/см³ по сравнению с 1,85—1,95 г/см³), гранулометрического состава (суглинистый и тяжело-суглинистый на фоне супесчано-суглинистого щебнистого), мощности (5—7 м в отличие от 1—3 м), а также приуроченность к зонам тектонических нарушений гидроморфных и полугидроморфных почв и более густой растительности (проектное покрытие 70—100%) приводит к уменьшению интенсивности радиосигнала. Поэтому и важен учет сезона съемки при структурно-геоморфологическом дешифрировании закрытых территорий. Как показал опыт работ, для этих целей в аридной зоне наиболее информативны РЛ-снимки поздневесеннего и раннелетнего аспектов, выполненные в условиях наибольших различий влажности поверхности. Дополнительная информация может быть получена со снимков раннезимнего аспекта, когда поверхностная влага переходит в кристаллическое состояние и понижение температуры по-разному влияет на рыхлые отложения вследствие их разной увлажненности и теплопроводности, обусловленных литологическим составом. Кроме сезонного, большое значение имеет и погодный фактор. Так, в аридной зоне снимки равнинных территорий, сделанные после дождя, выглядят контрастнее.

При региональных исследованиях больших площадей равнин, перекрытых рыхлыми отложениями, нужно использовать РЛ-снимки, полученные с больших высот (6000—4500 м). В этих случаях при сохранении одного и того же рисунка и тона РЛИ происходит изменение размеров деталей изображения, их четкости, «объемности» и «структурности». Кроме того, на снимках, полученных с больших высот, за счет сокращения детальности изображения лучше трассируются линейные элементы, соответствующие разломам, выделяются морфоструктуры, отвечающие отдельным блокам фундамента, определяется направленность новейших тектонических движений (рис. 2, а).

Рыхлые отложения. По материалам РЛ-съемки могут быть установлены генезис, вещественный состав и ориентировочная мощность рыхлых отложений. Для изучения кайнозойских отложений рационально использовать РЛ-снимки м-ба 1 : 100 000, сделанные с высоты 3000 м. Выбор направления съемки для дешифрирования рыхлых отложений важен в случае выявления их линейных, вытянутых контуров. Такими являются пролювиальные и пролювиально-аллювиальные отложения логов, ложбин, временных водотоков. Так, например, на снимках, полученных при направлении залета с запада на восток, лучше дешифрируются рыхлые отложения, приуроченные к формам рельефа, ориентированным близшироко, и наоборот (рис. 1, а, б).

Известно, что формирование РЛИ рыхлых отложений в условиях равнинного рельефа обусловлено в значительной степени электрическими свойствами, а также шероховатостью их поверхности. Электрические свойства рыхлых отложений зависят от изменчивых по сезонам водно-физических свойств и химических особенностей. Важнейшим фактором среди них является влажность, увеличение которой ведет к поглощению радиоволн и незначительному их отражению, с чем связано увеличение степени почернения позитивного изображения. Пористость верхних горизонтов рыхлых образований также влияет на величину электропроводности, так как с количеством пор в осадках связано содержание в них воздуха и влаги. Пористость в свою очередь опре-

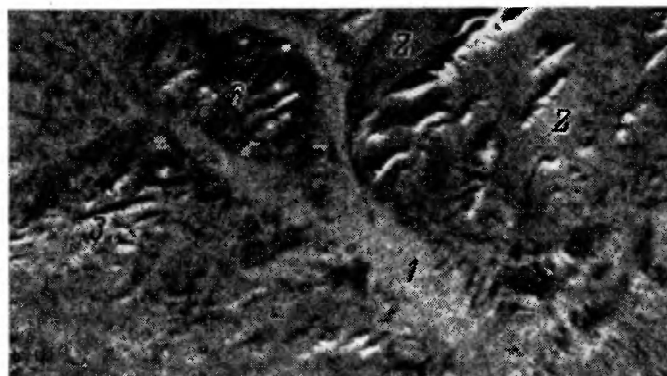


Рис. 4. Фрагмент РЛ-снимка с изображением аллювиальных накоплений низовьев сухого русла Ащиозек с хорошо выраженной фестончатостью вблизи устья (на снимке помечены цифрой 1), делювиальные накопления подножий (помечены цифрой 2); элювиально-делювиально-пролювиальные образования вокруг мелких сопкок цокольной равнины (помечены цифрой 3)

деляется формой и величиной частиц, т. е. гранулометрическим составом рыхлых образований. На электропроводность оказывает влияние и засоленность осадков, в особенности наличие солей, находящихся в растворенном состоянии. Увеличение концентрации растворов резко увеличивает их диэлектрическую проницаемость по сравнению с водой (Кашпровский, Кузубов, 1971).

Шероховатость поверхности создается щебнем или дресвой разной величины, мелкими эрозийными врезам, холмиками и норами грызунов, песчаными наносами и другими микро- и наноформами рельефа, а также таким изменчивым по сезонам фактором, как растительный покров, различающийся по морфологии, размерам прикустовых бугров, высоте и сомкнутости полога, морфологии самих растений.

В связи с приведенными данными выбор сезона съемки для изучения рыхлых отложений весьма важен. Дифференциация рыхлых отложений по влажности может производиться с большей достоверностью по снимкам того сезона, когда разница в их увлажнении наибольшая. В аридных условиях ранней весной увлажнение всех поверхностей максимальное, резких контрастов во влажности, а следовательно, и в тоне радиолокационного изображения не наблюдается. Летом при общем дефиците влаги резко проявляется роль рельефа в перераспределении атмосферных осадков, последние аккумулируются и сохраняются сравнительно дольше в различных отрицательных формах микро- или мезорельефа. Приуроченные к ним наиболее увлажняемые (они же и наиболее сортированные — суглинистые или супесчаные отложения) на радиолокационных снимках раннелетнего аспекта изображаются темно-серым тоном. На раннелетних снимках достаточно контрастно проявляются участки рыхлых отложений с повышенным не только поверхностным, но и грунтовым увлажнением, приуроченные к разломам.

Информативность зимних РЛ-снимков при выявлении различий в увлажнении рыхлых отложений в некоторых случаях даже большая, чем раннелетних. Это связано с заметным снижением вуалирующего влияния растительности, а также и с тем, что накопившаяся в почве и не истраченная на транспирацию влага осенних осадков при резком понижении температуры переходит в кристаллическое состояние и вызывает изменение электропроводности.

Для дешифрирования рыхлых отложений депрессий, характеризующихся постоянным избыточным увлажнением и засоленностью (шоры,

Рекомендации по выбору условий проведения РЛС при изучении рельефа и рыхлых отложений

Назначение РЛ-съемки	Сезон проведения съемки		Высота, м		Масштаб	
	горы	равнины	горы	равнины	горы	равнины
Геоморфологическое картирование (средне- и мелко-масштабное)	Все сезоны (кроме зимы)	Поздняя весна, раннее лето, ранняя зима	6000	3000, 1500	1 : 100000	1 : 100000
Структурно-геоморфологический анализ (региональный)	»	»	6000	4500, 6000	1 : 200000	1 : 200000
Структурно-геоморфологический анализ локальных структур	»	»	4500	3000, 1500	1 : 100000	1 : 100000
Картирование рыхлых отложений равнинных территорий (мелкомасштабное)	—	Поздняя весна, раннее лето	—	3000, 1500 (для определения гранулометрического состава и влажности) 6000, 4500 (для дешифрирования геонезиса)	—	1 : 100000, 1 : 200000

днища озерных ванн и т. д.), пригодны РЛС всех сезонов съемки. Изображения их контрастны, тон черный или почти черный. В данном случае сказывается совокупное влияние нескольких факторов — постоянной повышенной влажности отложений, высокой концентрации наполняющих их почвенных растворов, гладкости поверхности, лишенной растительности из-за высокой засоленности.

Выбор сезона съемки определяется и фенологическим состоянием растительности, которая иногда маскирует рыхлые осадки, затушевывая влияние на РЛИ некоторых их свойств (влажности, например), а в большинстве случаев индицирует характер отложений. Индицирующая роль растительности особенно существенна при определении вещественного состава отложений, главным образом гранулометрического состава. Отмечается довольно строгая приуроченность, например, полынно-ковыльных или ковыльных ассоциаций к легким супесчаным или песчаным отложениям, тогда как полукустарничковые ассоциации, например кокпековые или полынно-кокпековые, приурочены к суглинистым разностям, а различные соляноквыльные ассоциации — к тяжелосуглинистым и глинистым, как правило, засоленным отложениям. Названные растительные ассоциации благодаря различиям в жизненных формах растений, характере полога, сомкнутости, высоте и пр. получают разное изображение на РЛ-снимках.

Для дешифрирования гранулометрического состава рыхлых отложений лучшими являются снимки

поздневесеннего аспекта, когда растительность достигает полной фазы вегетации. Летом растительность засыхает, и различия нивелируются, на РЛ-снимках контрастность изображения различных группировок утрачивается, однако основные границы их прослеживаются довольно четко. Зимние снимки отличаются значительно меньшей информативностью в отношении определения гранулометрического состава из-за снижения различий в растительных сообществах вследствие отмирания вегетативных частей растений.

По материалам РЛ-аэросъемки может быть установлен генезис и в отдельных случаях относительный возраст рыхлых накоплений: морфологические особенности и расположение геологических тел позволяют наметить места развития делювиальных плащей, пролювиальных конусов выноса, аллювиальных осадков и т. д. (рис. 4). Радиальные полосы изображения подножий гор позволяют оконтуривать делювиальные шлейфы, а своеобразный рисунок и тон РЛ-изображения конусов, определяемый размером обломочных частиц слагающих их осадков, дает возможность наметить делювиальные плащи различных возрастных генераций.

Линейно-вытянутая или дельтовидная конфигурация контуров, присущая формам геологических тел, образование которых происходит при участии потоков, позволяет наметить области развития пролювиальных и аллювиальных накоплений. Среди долинных образований, отличающихся еще и более темным тоном РЛ-изображения, по различающейся микроструктуре изображения выделяются и террасы, принадлежащие различным возрастным уровням. В целях дешифрирования генезиса рыхлых отложений следует применять снимки м-ба 1 : 100 000, обладающие максимально хорошим для РЛ-материалов разрешением на местности. Кроме того, другим важным условием будет сезон проведения съемки.

РЛ-снимки позволяют ориентировочно определить мощность покрова рыхлых отложений (Семенова, Можаяева, 1973). Для этих целей наиболее подходят снимки, полученные при малых углах облучения, поскольку на них отражены все неровности поверхности, в том числе связанные с погребенным рельефом фундамента. Они как бы «просвечивают» через рыхлый чехол, создавая в его толще и на поверхности структурно-обусловленные микроформы рельефа, интегрально изображающиеся на РЛ-снимках. Сравнение характера такого рисунка и карт мощностей рыхлых отложений показало, что подобное «просвечивание» отмечается на территориях с мощностью рыхлого покрова, не превышающей первого десятка м.

Таким образом, выбор РЛ-снимков для проведения геолого-геоморфологического дешифрирования определяется конкретной задачей проводимого исследования (таблица). В общем виде можно сказать, что при дешифрировании рельефа наиболее важны технические условия проведения съемки (высота полета, направление залетов, масштаб); при изучении покрова рыхлых отложений на первое место выдвигается сезон проведения съемки, а на второе — малые углы облучения и масштаб изображения.

ЛИТЕРАТУРА

- Астахов В. И., Кобец Н. В., Можаяев Б. Н., Можаяева В. Г., Скублова Н. В. Дистанционные методы и происхождение крупных форм рельефа. «Тр. XXIII Международного географического конгресса». Секция I. Геоморфология и палеогеография. М., 1976.
- Беззубцев В. В., Бармина С. А., Залляев Р. Ш. Опыт применения РЛ-съемки для картирования допалеозойских осадочно-вулканогенных и вулканогенных толщ на Таймыре. В кн. «Тезисы к совещанию по современным проблемам геологии». Изд-во Воронежского ун-та, 1974.

- Глух А. К., Алферов Г. Ю. Некоторые результаты дешифрирования радиолокационных снимков в Кураминском хребте. В кн. «Пути повышения эффективности геолого-съемочных и поисковых работ». Тез. докл. на совещании в г. Ульяновске. М., 1973.
- Задорина С. Н., Можаяева В. Г., Набоков М. М., Старостин В. А. Дешифрирование кольцевых тектоно-магматических структур Кураминского хребта по материалам РЛ-аэросъемки. В кн. «Применение новых видов аэросъемок при геологических исследованиях». Сб. научн. трудов (ВСЕГЕИ). Л., 1976.
- Кашировский В. Е., Кузубов А. Ф. Распространение средних радиоволн земным лучом. М., «Связь», 1971.
- Комаров В. Б., Старостин В. А., Нявро Б. П. Развитие исследований в СССР по использованию радиолокационных изображений для геологических целей. В сб. «Исследование природной среды космическими средствами. Геология и геоморфология», т. 2. АН СССР. Комиссия по исследованию природных ресурсов с помощью космических средств. М., 1974.
- Семенова Н. Н., Можаяева В. Г. Опыт применения радиолокационной аэросъемки в картографии почв. «Почвоведение», № 10, 1973.
- Старостин В. А., Набоков М. М., Можаяева В. Г., Хейфиц Я. М. Применение аэросъемки при изучении тектонического строения закрытых территорий (на примере южной части Ташкентского сейсмополигона). Экспресс-инф. Сер. общ. и региональная геология, геолог. картирование. ВИЭМС, № 8. М., 1973.
- Стрельников С. И. Применение радарной аэросъемки в США при изучении и освоении природных ресурсов. МГ СССР, обзорн. сер. региональная геология и методика геологического картирования. ВИЭМС, М., 1971.
- Celnett Ron. Lineament patterns from radar imagery in Alaska, Arizona, California and Montana. «Proceedings of The First International Conference on the Nem Basement Tectonics». Utah Geological Association Publication, v. 5. Salt Lake city, Utah, June 3—7, 1974.
- Eppes T. A., Rouse J. W. Aspatial frequency analysis of the geologic information content of SZAR images. «Proceedings of the Seventh International Symposium on Remote sensing of Environment», v. 1, 17—21 may, 1971.
- Simonett D. S. Remote sensing with imaging radar; a review. «Geoforum», N 2, 1970.
- Wing Richard S., Overbey William K. Jr., Dellwig Louis F. Radar Idneament analysis, Burning Springs area, West Virginian «Bull. Geol. Soc. Amer.», v. 81, No. 11, 1970.

Всесоюзное аэрогеологическое
научно-производственное
объединение «Аэрогеология»

Поступила в редакцию
19.IV.1977

OPTIMUM CONDITIONS FOR OBTAINING RADIOLOCATION IMAGE TO STUDY RELIEF AND LOOSE DEPOSITS OF ARID REGIONS

MOZHAYEVA V. G., SEMENOVA N. N.

Summary

Material obtained from radiolocation survey is an additional source of information used to work out geological and geomorphological problems. It may serve as the basis for geomorphological mapping, structural-geomorphological analysis and mapping of loose deposits. The quantity of information obtained from radiolocation survey depends essentially on the observance of a number of conditions. While interpreting relief most important are technical conditions (height of the flight, direction of the flight and scale), while mapping loose deposits a right choice of a season is essential.