

УДК 551.4.012 : 551.435.7 : 528.77

В. И. КРАВЦОВА, Т. Б. КУЗИНА, С. В. ЛЮТЦАУ

ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ КОСМИЧЕСКИХ ФОТОСНИМКОВ И ВЫСОТНЫХ АЭРОФОТОСНИМКОВ ДЛЯ ДЕШИФРИРОВАНИЯ ЗОЛОВОГО РЕЛЬЕФА

Рассматриваются возможности дешифрирования золотого рельефа по космическим фотоснимкам, и на основании экспериментальных работ по снимкам с орбитальной станции «Салют», высотным и обычным аэро-снимкам анализируется достоверность дешифрирования золотого рельефа залесенных районов.

Предлагается методика эталонного дешифрирования высотных аэро-фотоснимков, преобразованных с усилением контраста деталей, позволяющая после анализа изображения эталонов на космических снимках переходить к сплошному дешифрированию космических снимков. По предлагаемой методике впервые составлена карта золотого рельефа боровых ложбин, пересекающих Приобское плато. Анализ этой карты с привлечением результатов полевых исследований дает новый материал для решения вопроса о генезисе боровых ложбин.

Космические фотографические снимки высокого качества — хороший материал для общего и регионального изучения золотого рельефа. Высокая разрешающая способность снимка и большая обзорность позволяют проследивать комплексы золотых форм на значительной по протяженности территории, что является необходимым условием для изучения пространственных закономерностей, связанных с особенностями формирования и развития золотых образований.

Съемки из космоса дали многочисленные примеры изображения рельефа песков (рис. 1), свидетельствующие о необыкновенном разнообразии золотых форм. Космические снимки позволили открыть ранее неизвестные массивы песков в районе озера Чад (Verstappen, Zuidom, 1970), впервые проследить комплексы гигантских, протягивающихся на 300—400 км дюн — сэфов в северо-восточной Африке и Аравии, установить направление пылепесчаных потоков и подсчитать объем переносимого ими материала (Виноградов, Григорьев, 1970, 1970а). По космическим снимкам обнаружены золотые формы на Марсе. Во всех этих случаях использовались снимки открытых районов, на которых рельеф песков выступает особенно отчетливо.

Наш опыт работ с космическими фотоснимками на территории Алтайского края и Семипалатинской области показал, что они с успехом могут быть использованы и для общего изучения и обзорного картографирования золотого рельефа залесенных песчаных массивов. На черно-белых космических фотоснимках масштаба около 1 : 2 млн. прослеживаются хорошо известные параллельные друг другу боровые ложбины, пересекающие Приобское плато, — Касмалинская, Барнаульская и Алейская и их расширенные части на правобережье Иртыша. Песчаные отложения по днищам этих ложбин находятся под сосновыми борами, изображение которых имеет темный тон, хорошо выделяющийся на общем бо-

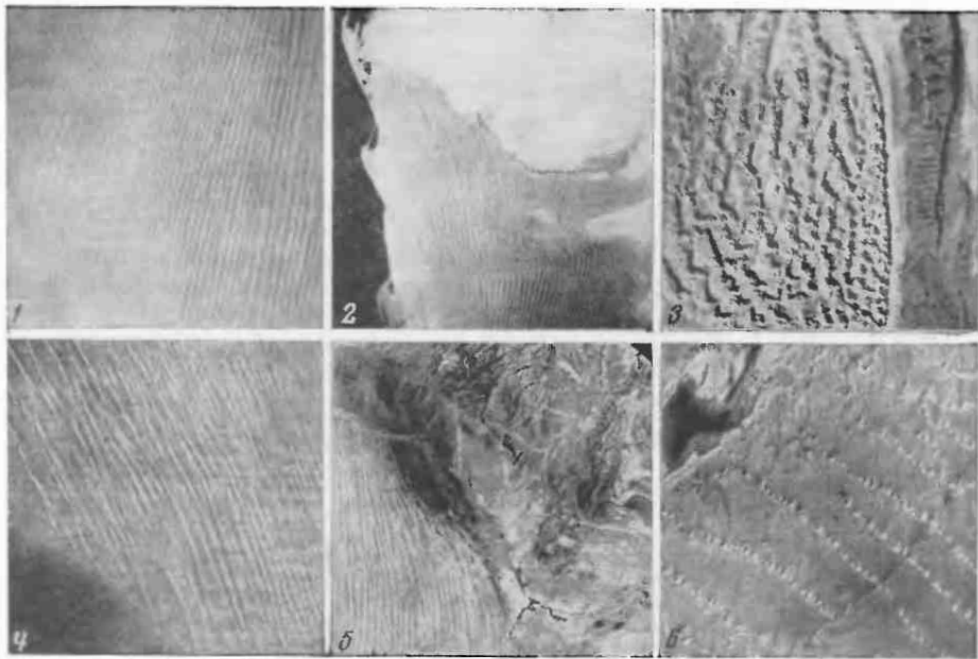


Рис. 1. Изображение различных форм эолового рельефа песков на снимках с космического корабля «Джемини»

лее светлом фоне безлесных пространств, благодаря чему ложбины четко оконтуриваются на космических снимках.

Эоловый рельеф ложбин служил объектом изучения геоморфологов (Занин, 1958; Федорович, 1961), но на геоморфологических картах он изображался весьма схематично. Например, на геоморфологической карте, составленной Г. В. Заниным и В. И. Кравцовой, показаны вытянутые по направлению ложбин гряды, веерообразно расходящиеся в Алейской и Барнаульской ложбинах. Такое изображение было предположительным, поскольку даже на крупномасштабных топографических картах эоловый рельеф этих районов почти не отражается, а небольшая площадь, охватываемая отдельными листами этих карт, не позволяет проследить крупные сочетания и комплексы форм.

Эоловый рельеф залесенных районов относится к числу элементов, трудно дешифрируемых и требующих большой тщательности в работе и использования различных методических и технических приемов, которые позволяют увеличить объем информации, получаемой со снимка.

На космических снимках эоловые формы рельефа отражаются благодаря неравномерному распределению на них лесной растительности, состав и сомкнутость древостоя которой меняются на разных элементах рельефа. Вершины дюн и гряд заняты разреженными сосняками без подлеска и часто без травостоя с сомкнутостью крон до 0,3—0,4; иногда гребни этих форм вообще безлесны. На склонах произрастают березово-сосновые леса с сомкнутостью крон 0,5—0,7, а увлажненные междюнные понижения заняты осиново-березовыми лесами с густым подлеском с сомкнутостью крон до 0,9. На исследованных нами снимках более темный тон изображения лиственных пород по сравнению с более светлым тоном изображения сосновых насаждений создает внутри контуров леса слабо заметную пятнистость, а изображение безлесных песчаных гребней имеет вид тонких светлых прожилок. Их рисунок в сочетании с общей пятнистостью позволяет оконтурить осевые части эоловых форм. Не



Рис. 2. Карта золотого рельефа юго-западной части Приобского плато и правобережного Припяти, составленная по материалам дешифрирования космических фотоснимков с учетом эталонного дешифрирования оригинальных и преобразованных высотных аэрофотоснимков

1 — гряды, 2 — дюны, 3 — дюнные цепи, 4 — ячеистые пески, 5 — бугристые пески, 6 — границы лесной растительности, 7 — реки, озера

поскольку ширина безлесных участков очень мала, то просматриваются они на наших космических снимках с трудом. Поэтому большое значение имеет использование таких методов, которые позволили бы извлечь из снимков максимальную информацию.

При дешифрировании космических снимков мы пользовались отпечатками, увеличенными в 5—10 раз. Кроме позитивных использовались

специально подготовленные негативные отпечатки, на которых более четко выделяются линии гребней гряд и дюн в виде темных полосок на общем светлом фоне. Как негативные, так и позитивные материалы для дешифрирования подготавливались и на фотобумаге, и на пленке, причем больший эффект давало дешифрирование материалов, подготовленных на прозрачной основе, при работе с ними на просвет. Использование интерпретоскопа не было эффективным из-за ограничений поля зрения, поскольку для прослеживания систем эоловых форм обзорность имеет первостепенное значение. Стереоскопически формы эолового рельефа на космических снимках не воспринимаются из-за их малой относительной высоты (до 10—15 м), и преимущества интерпретоскопа как стереоприбора в этом случае не используются. Кроме того, на нем затруднена и рисовка отдешифрированной ситуации. Поэтому оказалось более рациональным пользоваться увеличенными позитивами и негативами на пленке и, работая с ними на светокопировальном столе, переносить отдешифрированный рисунок на прозрачный пластик. Таким образом был отдешифрирован эоловый рельеф на всей заснятой территории — в пределах Касмалинской, Барнаульской и Алейской боровых ложбин и их расширенных частей (дельт). Выявились большое разнообразие распространенных в них эоловых форм, среди которых были выделены гряды, дюны, простые и комплексные дюнные цепи, ячеистые пески, бугристые пески (рис. 2).

Для того чтобы проверить достоверность дешифрирования эолового рельефа по космическим материалам, его результаты были проконтролированы по высотным и обычным аэрофотоснимкам. Дешифрирование обычных аэрофотоснимков, сделанных с небольших высот в масштабе 1:17 000—1:30 000, большого эффекта не дало, так как по ним трудно проследить системы крупных эоловых форм — некоторые из них даже не помещаются полностью на одном снимке. Более рациональным оказалось использование мелкомасштабных аэрофотоснимков, полученных с больших высот (до 10 тыс. м) в масштабе 1:140 000, тем более, что такая съемка была выполнена одновременно с космической. В пределах картируемой территории было выбрано три эталонных участка для такой проверки — участок слияния Касмалинской и Барнаульской ложбин, так называемый Сроstenский бор, Алейская ложбина и расширенная приртышская часть этой ложбины.

На высотных снимках формы эолового рельефа просматриваются значительно лучше, чем на космических, однако и на них эти формы отразились недостаточно четко, поэтому для улучшения дешифрируемости высотных снимков мы попытались применить один из видов их преобразования — усиление контраста деталей изображения. Для такого преобразования использована несложная установка, созданная на кафедре аэросъемки МИИГАиК в лаборатории О. Н. Керши. Специально разработанная приставка, соединенная с фототелеграфом «Нева», позволяет производить ряд плотностных и фильтрационных преобразований изображений, что оказывается полезным для дешифрирования некоторых объектов.

Чтобы выявить эффективность применения таких преобразованных изображений для дешифрирования эоловых форм, было произведено параллельное и независимое дешифрирование оригинальных аэрофотоснимков и преобразованных снимков на идентичных участках в пределах выбранных эталонов. Эта работа показала, что количество форм и их общая картина, выявляемые по обоим видам материалов, существенно не различаются. Однако уверенность дешифрирования при использовании преобразованных снимков значительно возрастает: если по оригинальным аэроснимкам на некоторых участках до 25% форм выделялось как неуверенно дешифрируемые, то на преобразованных снимках все они стали дешифрироваться с достаточной уверенностью.

Результаты дешифрирования эоловых форм по космическим фотоснимкам в сравнении с результатами, полученными по оригинальным и преобразованным аэрофотоснимкам, показаны на рис. 3 и 4, а сравнение этих материалов с результатами дешифрирования космических снимков представлено в табл. 1—3.

Как видно из рис. 3, принципиальных расхождений в результате дешифрирования по различным видам материалов нет, но полнота дешифрирования различна. Эти различия в значительной мере определяются положением эталонных участков на космическом снимке. Так, на участке Сроstenского бора, расположенном вблизи от центра снимка, по аэроснимкам отдешифрировано эоловых форм в 2,7 раза больше, чем по космическим снимкам, для Алейской ложбины это соотношение составляет 14, а в приртышской расширенной части Алейской ложбины, изображение которой находится близко к краю снимка, приближается к 20.

Если на участке Сроstenского бора характер форм, их расположение, выявленное по аэроснимкам, было отдешифрировано аналогичным образом и по космическому снимку, то в Алейской ложбине не только резко увеличилось общее количество форм как грядового, так и дюнного рельефа, но изменились и общие границы их распространения. Там, где по космическим снимкам были показаны лишь отдельные гряды, по аэрофотоснимкам дополнительно выявились также массивы ячеистых и бугристых песков. Еще больше пополнилась картина эоловых форм на эталонном участке в расширенной части Алейской ложбины. К отдельным грядам и дюнам здесь добавились ячеистые и бугристые пески, комплексные дюнные цепи. Местами на космических снимках наблюдается потеря изображения некоторых мелких форм. Например, развитые на участке Сроstenского бора крупные дюны длиной порядка 1—2 км с радиусом закругления 0,5 км хорошо отразились на космических снимках, а осложняющие их более мелкие формы выявились лишь по аэрофотоснимкам. Еще лучше эти последние видны на преобразованных снимках, дешифрирование которых, правда, не увеличило существенно количество выявленных форм, но значительно повысило достоверность их выделения.

Проведенный эксперимент позволяет сделать следующие выводы.

1. Космические снимки представляют хороший материал для изучения и обзорного картографирования эолового рельефа залесенных районов.

2. Дешифрируемость эолового рельефа, размер форм которого находится на грани линейного разрешения снимков, сильно зависит от положения исследуемого участка на снимке.

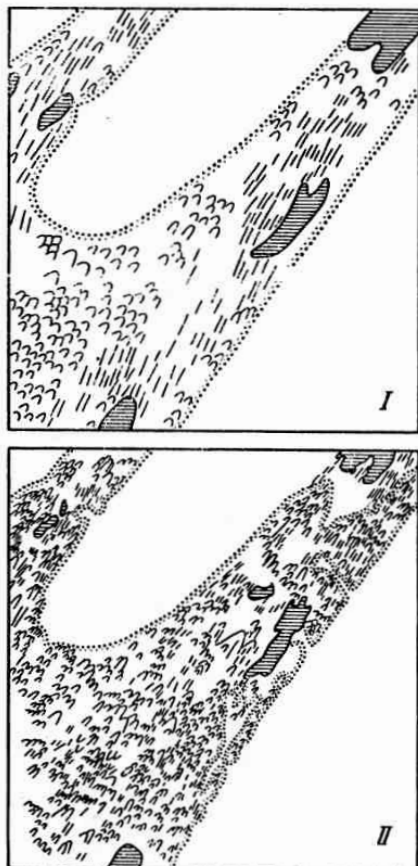


Рис. 3. Результаты дешифрирования эолового рельефа одного из эталонных участков (Сроstenский бор) по космическим фотоснимкам (I) и высотным аэрофотоснимкам (II)

Условные обозначения см. на рис. 2

Таблица 1

**Результаты дешифрирования золотого рельефа на участке
Алейской боровой ложбины**

Формы золотого рельефа	Количество отдешифрированных форм золотого рельефа (на площади 500 км ²)	
	по космическим фотоснимкам	по высотным аэрофотоснимкам
Дюны	28	263
Гряды	41	139
Участки яченстых песков (в скобках — число дюн в них)	—	4 (144)
Простые дюнные цепи (в скобках — число дюн в них)	—	6 (31)
Всего	69	577

Таблица 2

**Результаты дешифрирования золотого рельефа на участке
приртышского расширения Алейской боровой ложбины**

Формы золотого рельефа	Количество отдешифрированных форм золотого рельефа (на площади 160 км ²)	
	по космическим фотоснимкам	по высотным аэрофотоснимкам
Дюны	11	79
Гряды	—	35
Участки яченстых песков (в скобках — число дюн в них)	1 (20)	3 (282)
Всего:	31	396

Таблица 3

**Результаты дешифрирования золотого рельефа на участке слияния Касмалинской
и Барнаульской боровых ложбин (Сростенский бор)**

Формы золотого рельефа	Количество отдешифрированных форм золотого рельефа (на площади 500 км ²)								
	по космическим фотоснимкам			по высотным аэрофотоснимкам			по преобразованным высотным аэрофотоснимкам		
	всего	в т. ч. хорошо выраженных	в т. ч. плохо выраженных	всего	в т. ч. хорошо выраженных	в т. ч. плохо выраженных	всего	в т. ч. хорошо выраженных	в т. ч. плохо выраженных
Дюны	118	41	47	230	167	63	249	249	—
Гряды	68	68	—	158	140	18	197	197	—
Параболические дюны	7	7	—	77	52	25	73	73	—
Простые дюнные цепи (в скобках — число дюн в них)	—	—	—	4 (20)	2 (9)	2 (11)	5 (30)	5 (30)	—
Всего:	193			485			549		

3. Высотные аэрофотоснимки представляют хороший материал для проверки надежности дешифрирования космических снимков и для его детализации. Оптимальным является сочетание эталонного дешифриро-

вания эолового рельефа по высотным снимкам с дешифрированием его по космическим снимкам на остальных площадях.

4. Хорошим дополнительным материалом при дешифрировании высотных аэрофотоснимков могут служить преобразованные аэрофотоснимки, например снимки с усилением контраста деталей, использование которых повышает надежность дешифрирования.

Общая картина эолового рельефа, полученная по космическим снимкам с учетом эталонного дешифрирования аэроснимков, представлена на рис. 2. Выявленная с большой детальностью, впервые показывающая

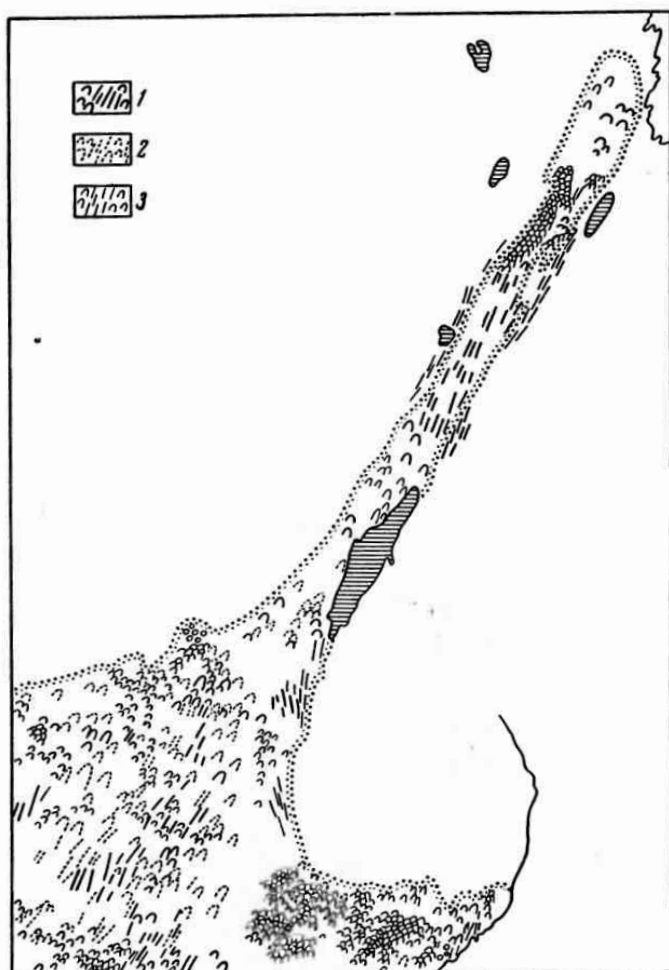


Рис. 4. Результаты дешифрирования эолового рельефа Алейской ложбины

1 — формы, отдешифрированные по космическим снимкам; 2 — формы, отдешифрированные по космическим снимкам с учетом эталонного дешифрирования аэрофотоснимков; 3 — формы, дешифрирующиеся только по аэрофотоснимкам. Условные обозначения форм рельефа песков те же, что на рис. 2

реально существующий в борových ложбинах набор форм и их распределение, она может внести и некоторую ясность в спорный вопрос о генезисе самих борových ложбин, происхождение которых представляет одну из нерешенных геоморфологических загадок равнинного Алтая. Изучение рельефа по космическим снимкам и высотным аэроснимкам, дополненное полевыми исследованиями этой территории, показало, что эоловый рельеф расширенных частей ложбин древнего стока чрезвычай-

чайно разнообразен и существенно отличается от такового в северо-восточных частях ложбин, расположенных на Приобском плато. Здесь широко распространены не только песчаные гряды, характерные для ложбин в пределах Приобского плато, но и дюны, дюнные цепи, ячеистые и бугристые пески, причем дюны достигают здесь максимальной высоты (10—12 м над подножием).

Ориентировка длинных осей песчаных гряд далеко не всегда совпадает с простираем ложбин, как это хорошо видно на рис. 2. Большая часть гряд вытянута с юга на север или на северо-северо-восток в соответствии с направлением господствующих здесь южных и юго-юго-западных ветров. Эоловые гряды как бы секут боровые ложбины под острым углом, что особенно хорошо видно в Барнаульской ложбине. Аналогичные результаты были получены и при статистической обработке многочисленных замеров простираем длинных осей песчаных гряд, которые были произведены в поле с помощью горного компаса. Очевидно, что эоловые формы, распространенные в пределах ложбин, образовались позднее самих ложбин и не имеют прямого отношения к процессам, создавшим ложбины. О том же свидетельствуют и изученные нами разрезы песчаных отложений в пределах ложбин древнего стока. Под рыхлыми неслоистыми эоловыми песками мощностью от 3 до 15 м там повсеместно вскрываются слоистые аллювиальные отложения касмалинской свиты (конец среднего и начало верхнего плейстоцена), описанные ранее О. М. Адаменко (1974). Таким образом, кажется вероятным, что перед этапом развития эолового рельефа ложбины формировались водными потоками, как это предполагал в свое время И. П. Герасимов (1940).

Интересно, что не только рельеф, но и эоловые отложения расширенных прииртышских частей боровых ложбин существенно отличаются от подобных же осадков в пределах Приобского плато. Как показали механические анализы многочисленных проб песка, содержание зерен крупных фракций (более 0,5 мм) здесь достигает 16—18%, тогда как в ложбинах Приобского плато крупнозернистого песка никогда не бывает более 3—4% от веса всей пробы. Увеличение крупности эолового материала в расширенных частях ложбин, вероятно, связано с большой силой ветра в этом районе. Очевидно, что в процессе неоднократного перевывания эоловые осадки лишились здесь некоторой доли тонкого песка и тем самым относительно обогатились более крупными песчаными зернами. Но возможно, что это связано и с другой причиной, а именно с близостью источника сноса крупнозернистого материала в виде горных сооружений Алтая, ближайшие из которых (Колыванский хребет) находятся всего в 60—100 км от этого района. Минералогические анализы образцов, отобранных из эоловых песков, указывают на повышенное содержание в отложениях дельтовых частей ложбин минералов тяжелой фракции (4—8%), а также обломков горных пород, вероятно, поступивших сюда с гор Алтая. Поскольку ни сейчас, ни в позднем плейстоцене транспортировка обломочного материала с гор в этот район не представляется возможной (по условиям рельефа), остается предположить, что эоловые пески этого района образовались за счет переотложения аллювиальных осадков кулундинской свиты (средний плейстоцен), которые образовались за счет выноса материала с гор Алтая реками (Алеем и Иртышом), и в настоящее время непосредственно соприкасаются как с аллювием касмалинской свиты, так и с эоловыми отложениями расширенных частей боровых ложбин.

Таким образом, дешифрирование эолового рельефа по космическим фотоснимкам и высотным аэрофотоснимкам, дополненное материалами полевых геоморфологических исследований, проливает в какой-то мере свет и на происхождение боровых ложбин, и на историю их формирования.

ЛИТЕРАТУРА

- Адаменко О. М. Мезозой и кайнозой степного Алтая. Новосибирск, «Наука», 1974.
- Виноградов Б. В., Григорьев А. А. Использование космических фотографий для изучения экзогенных форм рельефа. «Изв. Всес. геогр. о-ва», № 6, 1970.
- Виноградов Б. В., Григорьев А. А. Геоморфологическая интерпретация космических изображений Земли. «Геоморфология», № 1, 1970а.
- Герасимов И. П. Основные вопросы геоморфологии и палеогеографии Западно-Сибирской низменности. «Изв. АН СССР. Сер. геогр. и геофиз.», № 5, 1940.
- Занин Г. В. Геоморфология Алтайского края. Тр. особой комплексной экспедиции по землям нового с/х освоения, т. 1. «Природное районирование Алтайского края». М., Изд-во АН СССР, 1958.
- Федорович Б. А. О происхождении и палеогеографии Прииртышских равнин. «Матер. Всес. междуведомственного совещания по изучению четвертичного периода», т. III. М., Изд-во АН СССР, 1961.
- Verstappen H. Jh., Zuidom R. A. van. Orbital photography and the geoscience — a geomorphological example from Central Sahara. «Geoforum», No. 2, 1970.

Географический факультет
Московского университета

Поступила в редакцию
29.VII.1974

POSSIBILITIES

OF SPACE AND HIGH — ALTITUDE AERIAL PHOTOGRAPHS APPLICATION TO THE EOLIAN TOPOGRAPHY DECIPHERING

V. I. KRAVTSOVA, T. B. KUZINA, S. V. LUTSAU

Summary

The authors' work on mapping of eolian relief of the Priobkoe Plateau wooded hollows revealed the availability of data for eolian relief deciphering from space photographs. The deciphering reliability increases if high altitude aerial photographs are used for key sites. Aerial photos transforming to increase in contrasts makes positive results.

An analysis of the compiled map of the eolian relief together with field data enables to make more clear the wooded hollows genesis.
