ЗЕМЛЯ ПОД СТЕРЕОСКОПОМ

АЭРОФОТОСНИМКИ ПОМОГАЮТ ГЕОЛОГАМ РАСКРЫВАТЬ ПОДЗЕМНЫЕ КЛАДОВЫЕ

В. Н. Брюханов, В. В. Козлов, Е. Д. Сулиди-Кондратьев

Всесоюзный аэрогеологический трест (Москва)

Самолет плавно набирает высоту, пересекая величественный горный хребет. Внизу видны снежные вершины и ледники, альпийские луга и глубокие каньоны. Всмотритесь внимательнее. На скалистом обрыве выделяются прихотливо изогнутые разноцветные полосы, трещины, необычные яркие пятна. Геолог увидит там смятые в складки слои осадочных пород, многочисленные разрывные нарушения, выходы гранитов с кварцевыми жилами, зоны измененных пород, благоприятные для поисков рудных месторождений, и расшифрует многие детали геологического строения. С самолетов, снабженных специальными аэрофотосъемочными аппаратами, сейчас сфотографирована большая часть поверхности земного шара. Аэрофотоснимки, представляющие собой многократно уменьшенное изображение местности, стали важным орудием в руках исследователей природы. Особенно много ценных сведений они дают геологам. Под стереоскопом на аэрофотоснимке открывается реальная картина земной поверхности, какой она представляется с высоты птичьего полета.

НЕМНОГО ИСТОРИИ

Первый аэрофотоснимок был получен в России еще в 1886 г. Поручик Л. М. Кованько сфотографировал устье Невы с воздушного шара, летавшего на высоте около 1000 *м*. Новый метод быстро развивался. По признанию зарубежных специалистов, Россия еще в 1914 г. заняла ведущее место в мире по аэрофотосъемочным работам.

Инициатором применения авиации в геологических и географических исследованиях стал акад. А. Е. Ферсман[1], который в 1930 г. теоретически обосновал необходимость изучения на основе аэрометодов тектоники угольных бассейнов, пустынного рельефа, районов орошаемого земледелия, археологических объектов. А. Е. Ферсман предложил провести опытные исследования в слабо изученных в те времена районах Средней Азии.

Позже опытные работы по геологическому дешифрированию показали высокую эффективность этого метода. На основе опытных работ довоенных лет советский геолог В. П. Мирошниченко написал первую монографию о применении аэрофотосъемки для геологических исследований.

Особенно широко исследования с применением самолета и аэрофотоснимков развернулись после окончания Великой Отечественной войны. Тогда были созданы специализированные аэрогеологические экспедиции, охватившие геологической съемкой бескрайние просторы Сибири и Крайнего Севера. Одно за другим стирались белые пятна на геологической карте нашей Родины. Изучение аэрофотоснимков помогло сделать ряд выдающихся географических открытий. На аэрофотоснимках Центрального Тянь-Шаня удалось увидеть очертания неизвестной ранее, второй по высоте в Советском Союзе вершины — пика Победы. В верховьях Ин-

[1] См. «Природа», 1930, № 3, стр. 325—326.

Рис. 1. Среди фирновых полей и крупных ледников на аэрофотоснимке выступают скалистые гребни, сложенные породами различного литологического состава и возраста. Основная долина заложена вдоль крупного разлома. Видимые элементы слоистости помогают расшифровать геологическую структуру территории

дигирки был обнаружен обширный район современного оледенения. На крайнем Северо-Востоке аэрофотоснимки помогли найти потухший вулкан, затерявшийся среди Анюйского нагорья.

Широкий размах геологосъемочных работ в нашей стране привел к созданию специальной организации, широко применяющей материалы аэрофотосъемки — Всесоюзного аэрогеологического треста. Различные исследования по методике геологического дешифрирования были выполнены в Лаборатории аэрометодов [1].

Аэрофотоснимки прочно вошли в практику геологических исследований. Геологическая съемка, поиски полезных ископаемых, инженерно-геологические изыскания, изучение вулканов, рельефа, выявление подземных вод, решение многих теоретических проблем геологии — всюду дешифрирование аэрофотоснимков играет важную, а порой даже ведущую роль.

[1] В настоящее время появились крупные монографии по методике геологических исследований с использованием аэрофотоснимков, составленные М. Н. Петрусевичем и коллективом авторов под руководством Г. Ф. Лунгерсгаузена. Успехи в использовании аэрометодов при изучении природных ресурсов получили отражение в интересной статье, написанной 10 лет тому назад для журнала «Природа» коллективом авторов лаборатории аэрометодов под руководством чл.-корр. АН СССР Н. Г. Келля.

АЭРОФОТОСНИМОК И ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ КАРТА

Во многих районах аэрофотоснимок по существу является готовой геологической картой. На высококачественных фотографиях земной поверхности в хорошо обнаженных районах видны мельчайшие детали геологического строения местности: отдельные пласты горных пород, складки, трещины, интрузивные массивы. Имея такие снимки, можно во многих случаях ограничиться редкой сетью маршрутов для изучения вещественного состава пород, сбора остатков ископаемой фауны или флоры, отбора образцов для различных анализов. Сами же геологические границы, составляющие основу карты, могут быть дешифрированы еще до начала полевых работ.

Посмотрите на аэрофотоснимок горного района (см. вклейку I, *вверху*). Идеальная обнаженность позволяет проследить здесь все особенности разреза и геологической

Рис. 2. Интрузия гранитов выделяется в виде крупного серого пятна среди осадочных пород с иными дешифровочными признаками. Рельеф и растительность — вот что помогает здесь провести геологические границы и наметить разрывные нарушения

структуры. В песчано-глинистых и карбонатных отложениях мезозойско-кайнозойского возраста четко видны пестроокрашенные пачки пород, залегающие в ядре крупной антиклинальной складки. Хорошо выделяется узкая дополнительная антиклиналь низшего порядка. У резкого перегиба слоев видна серия небольших трещин, подчеркнутых промоинами.

На другом аэрофотоснимке, сделанном в горной области (см. вклейку I, *внизу*), прослеживается серия моноклинально залегающих пластов песчано-сланцевых отложений, круто наклоненных к северо-западу. Чередование устойчивых к агентам выветривания слоев песчаников с более податливыми сланцевыми пачками привело к образованию ребристого рельефа. На таком снимке можно изучить все детали строения монотонных флишеподобных толщ, проанализировать ритмичность осадконакопления, выявить фациальную изменчивость. Здесь, например, четко видны даже небольшие линзы песчаников, которые прослеживаются на местности всего на несколько десятков метров.

Но так бывает далеко не всегда. Густая растительность, поля, ледники и снежники, наконец просто осыпи — все это может помешать геологическому дешифрированию аэрофотоснимка. В этих случаях удается установить лишь некоторые детали геологического строения. Но и они помогают мысленно проникнуть в земные недра, получить ценную информацию для создания геологической карты. В данном случае ценность аэрофотоснимков заключается в возможности одновременно наблюдать обширную территорию. Это способствует выявлению таких особенностей геологического строения, которые ускользают от внимания исследователя, работающего на земле. Отдельные детали, наблюдаемые на широком фоне, более способствуют точному и быстрому воспроизведению общей картины, чем сопоставление разрозненных обрывочных сведений.

На аэрофотоснимке одного из высокогорных ледниковых районов виден крупный ледник с притоками и фирновыми полями (рис. 1). В осевой части хребта горные породы совсем скрыты под снегом. Крутые склоны долин ледников несут мощные осыпи, среди которых прослеживаются отдельные пласты каменноугольных отложений. К северу от долины большого ледника, вытянутого в широтном направлении, несмотря на развитие осыпей, хорошо видны

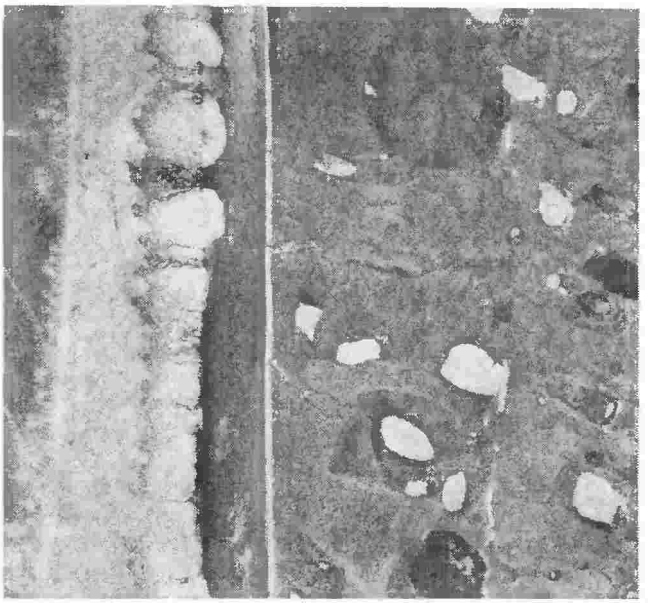


Рис. 3. На участке приморской равнины анализ аэрофотоснимка позволяет предположить два крупных разлома, вытянутых вдоль побережья. На местности их увидеть нельзя. Правильность дешифрирования может установить только геофизика, но закладывать несколько геофизических профилей нет необходимости. Достаточно, если разрывы будут подтверждены хотя бы в одном пункте

белые полосы, которым соответствуют слои палеогеновых известняков, мергелей и гипса среди красноцветных обломочных пород. Сам ледник скрывает под собой региональный разлом в земной коре. Именно поэтому на разных бортах долины оказались породы, разделенные по своему возрасту на сотни миллионов лет. Конечно, для построения геологической карты недостаточно сведений, полученных при изучении такого аэрофотоснимка. Дешифрирование здесь должно сопровождаться длительными и тяжелыми маршрутами, когда геолог вынужден заменить молоток ледорубом и на время стать настоящим альпинистом.

Еще труднее дешифрировать снимки многих районов страны, где большие пространства покрыты таежной растительностью, осыпями и шлейфами, образованными делювиально-солифлюкционными процессами. На аэрофотоснимке (рис. 2) одного из горных районов четко выделяется крупное серое пятно. Это гранитный массив, возвышающийся в виде отдельной горы. На вершине ее видны небольшие прямолинейные трещины. Зато в стороны от массива развит ува-

листый рельеф, сформировавшийся на песчано-сланцевых толщах триасового возраста. Склоны заросли кедровым стлаником, а долины здесь широкие и заболоченные, с оторочками делювиально-солифлюкционных шлейфов. Лишь кое-где на сглаженных водоразделах удается проследить фрагменты слоистости. На этом участке нельзя ограничиться даже густой сетью маршрутов. Для составления достоверной карты и проведения поисковых работ потребуются канавы и шурфы.

Существуют также районы, закрытые мощным покровом рыхлых четвертичных отложений. На аэрофотоснимках в этих случаях можно дешифрировать площади распространения различных генетических комплексов молодых отложений и выявить отдельные элементы структуры. На аэрофотоснимке одного из участков побережья океана (рис. 3) видны обширное ледяное поле, полоса чистой воды вдоль берега, приморская равнина с озерами, покрытыми еще не растаявшим льдом. Но даже такой снимок

Рис. 4. Пласты горных пород, показывающие строение куполовидного поднятия, подчеркнуты на аэрофотоснимке полосами растительности. Не надейтесь обнаружить эту структуру на местности. Только большой объем горных работ позволит геологам нарисовать изгиб слоев, не используя аэрофотоснимков

позволяет сделать некоторые предположения о геологическом строении. Во-первых, бросается в глаза, что береговая линия проведена как бы по линейке. И это не случайно. Чаще всего прямолинейные элементы рельефа, которые часто называют линеаментами, объясняются крупными разломами земной коры. Подобная же линия проходит западнее. Она подчеркнута цепочкой озер и заболоченных западин. Не исключено, что обе эти линии отражают систему крупных разрывных нарушений. В таких районах для подтверждения данных дешифрирования применяют бурение и геофизические исследования.

Весьма часты случаи, когда геологическая структура хорошо видна на аэрофотоснимках, но не может быть обнаружена на местности без проведения большого объема дорогостоящих буровых работ.

Местность, изображенная на рис. 4, представляет собой равнину, лишенную выходов коренных пород, частично покрытую лесом и кустарниками. Взглянув на аэрофотоснимок, вы сразу замечаете определенные закономерности в размещении растительности, которая как бы подчеркивает залегание пластов горных пород различного состава.

На рисунке 5 виден участок территории обширной низменности. Широкое развитие болот не только делает эту территорию труднопроходимой, но также полностью скрывает от взгляда исследователя особенности геологического строения. Однако ориентировка болот и водотоков указывает здесь на сеть разрывных нарушений, обнаружить которые не всегда удается даже геофизическими методами.

Таким образом, для изучения районов со слабой обнаженностью при дешифрировании аэрофотоснимков используется часто не изображение самих геологических объектов, а компоненты ландшафта. Такой метод дешифрирования, при котором особенности геологического строения расшифровываются через ландшафт, получил название ландшафтного. Геолог перестает быть узким специалистом. Для того чтобы создать хорошую геологическую карту, ему приходится быть геоботаником, географом, геофизиком и математиком.

Сейчас подавляющему большинству геологов стала вполне ясна необходимость применения аэрофотоснимков при создании геологических карт. Без аэрофотометода не может быть полноценной геологической карты. Но вместе с тем дешифрирование остается

лишь методом в комплексе геологического картирования, хотя и занимает одно из ведущих мест. Обычно на всю площадь съемки еще до полевых работ проводится так называемое предварительное дешифрирование, при котором создается каркас будущей карты. Затем в полевых маршрутах геолог постоянно обращается к аэрофотоснимкам, выявляя все новые дешифровочные признаки, которые ускользают при предварительном просмотре. И после полевого сезона при камеральной обработке собранных материалов дешифрирование позволяет уточнить отдельные контуры, разобраться в спорных вопросах. Дешифрирование дает возможность резко повысить качество, эффективность и скорость геологической съемки. Но одно дешифрирование не может решить всех задач, стоящих перед геологом-съемщиком. По замечанию известного советского геолога проф. А. А. Богданова, справедливой остается старая поговорка: «Геолога кормят ноги». Нам только хочется несколько расширить ее, добавив: ... и самолет.

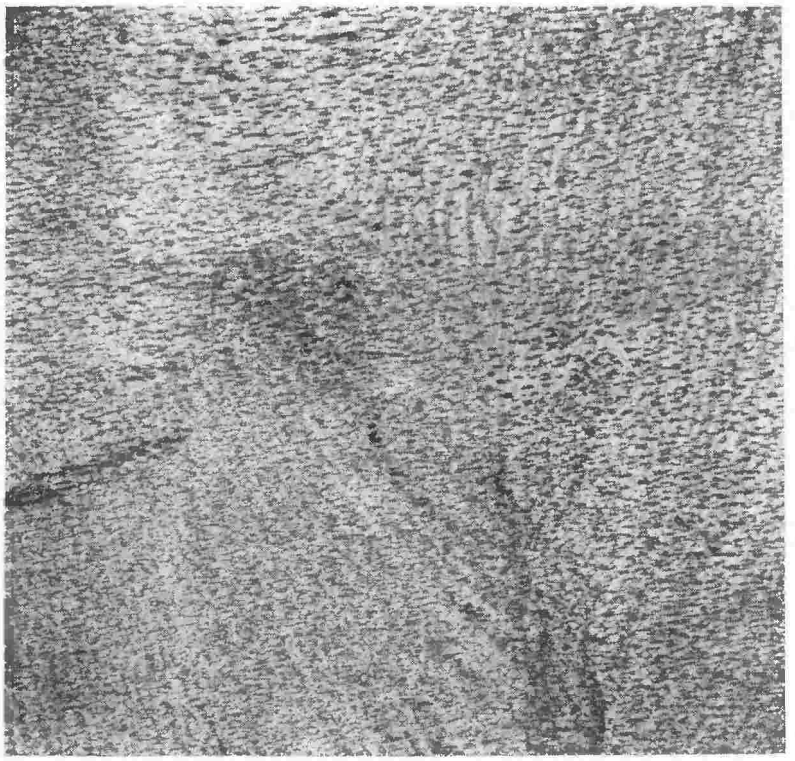


Рис. 5. Почти сплошь заболоченный участок обширной низменности, лишенный выходов коренных пород. Но и в этих условиях закономерная ориентировка полос растительности и болот позволяет без особого труда выявить на аэрофотоснимках разрывные нарушения

АЭРОФОТОСЪЕМКА НИКОГДА НЕ УСТАРЕЕТ

Несколько лет тому назад в одном из зарубежных журналов появилась статья с названием, полным пессимизма: «Аэрофотосъемка устарела». Ее автор утверждал, что возможности фотографирования с воздуха как метода исследования природных ресурсов практически исчерпаны и будущее принадлежит только сложным электронным системам, способным анализировать отражательные свойства и другие особенности отдельных деталей земного ландшафта. Современное состояние и перспективы развития и использования аэрофотосъемки показывают, что этот исследователь неправ.

С каждым годом совершенствуются материалы аэрофотосъемки, применяемые в геологических работах. Все большее место завоевывает цветная фотография земной поверхности. Аэрофотоснимки с естественной передачей цветов дают возможность судить об окраске горных пород и с гораздо бо́льшей достоверностью дешифрировать отдельные пачки и слои в составе пестроокрашенных толщ. Особенно хорошо выделяются на цветных аэрофотоснимках пачка красных песчаников и глин, широко распространенные, например в меловых и палеогеновых отложениях (см. вклейку I, *вверху*). Во многих районах только цветная аэрофотография дает возможность надежно установить даже небольшие по размерам зоны гидротермально измененных пород, обо́хренные с поверхности и окрашенные в яркие тона красного или желтого цвета. С этими зонами связываются месторождения многих металлов. Опытные работы показали, что цветная аэрофотосъемка весьма полезна при картировании зон измененных пород среди девонских вулканогенных пород (см. вклейку II, *вверху*) и палеозойских толщ горных областей (см. вклейку II, *внизу*, *слева*). Такого рода «аэропоиски» могут быть особенно эффективными в еще недостаточно изученных районах Крайнего Севера, преж-

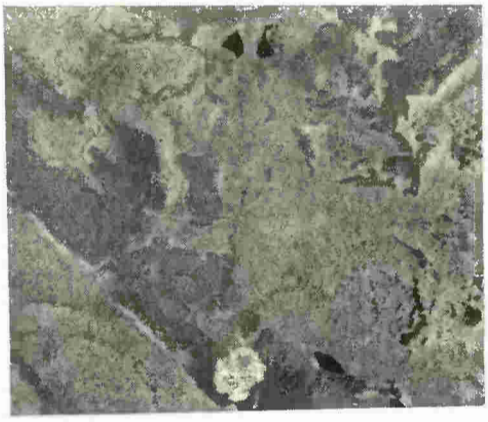


Рис. 6. Крупномасштабный аэрофотоснимок района кимберлитовой трубки, которая выделяется в виде более темного пятна. В этом месте произрастает густой подлесок из ольхи, развитию которого способствуют микрокомпоненты, содержащиеся в кимберлите

де всего в областях широкого распространения вулканогенных формаций. А как быть в тех районах, где цвет пород однообразен или сами геологические образования скрыты под покровом растительности? Ответ на этот вопрос дают спектрозональные аэропленки. Они расширили возможности человеческого зрения, преобразовав излучение в разных зонах спектра, в том числе и инфракрасной зоне, в видимое разноцветное изображение.

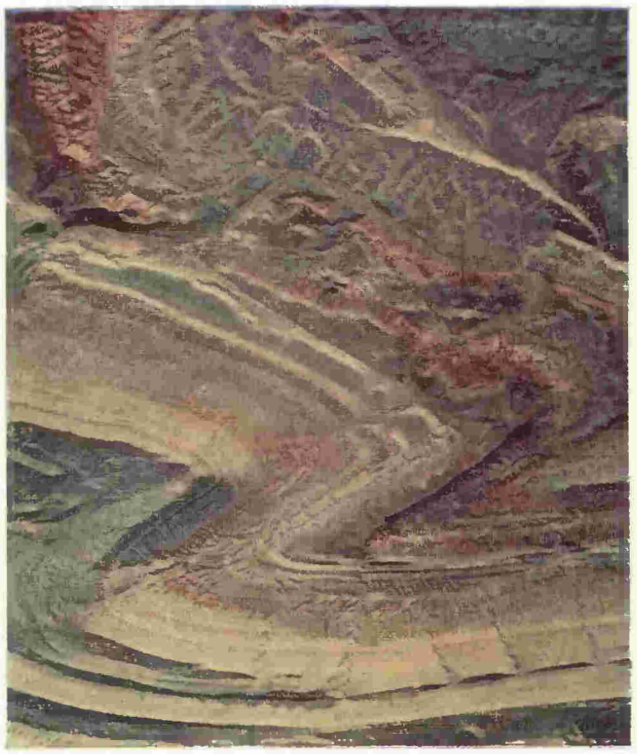
Школа геоботаников, возглавляемая проф. С. В. Викторовым, установила связь различных видов растительности с породами определенного состава, спектрозональные пленки помогли определить эти виды на аэрофотоснимках, геологи, дешифрируя растительные сообщества, получили возможность на основе полученных данных проводить геологические границы. Ландшафтный метод стал чаще применяться, когда появились новые средства воздушного фотографирования (см. вклейку II, *внизу, справа*).

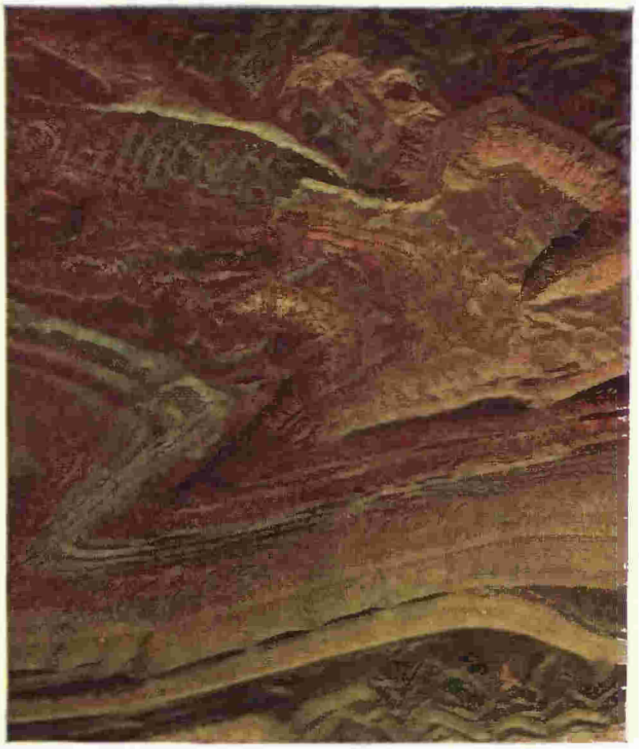
На спектрозональных аэрофотоснимках хорошо видны полосы более интенсивной растительности, связанные с зонами дробления или выходами увлажненных слоев. Как правило, на них более четко выступают разрывные нарушения и трещины. Они оказались также полезными при поисках неглубоко залегающих грунтовых вод в засушливых областях. На подобных аэрофотоснимках более рельефно выделяются алмазоносные кимберлитовые трубки, так как к ним обычно приурочен участок развития густого подлеска, состоящего из ольхи и других влаголюбивых кустарников (рис. 6).

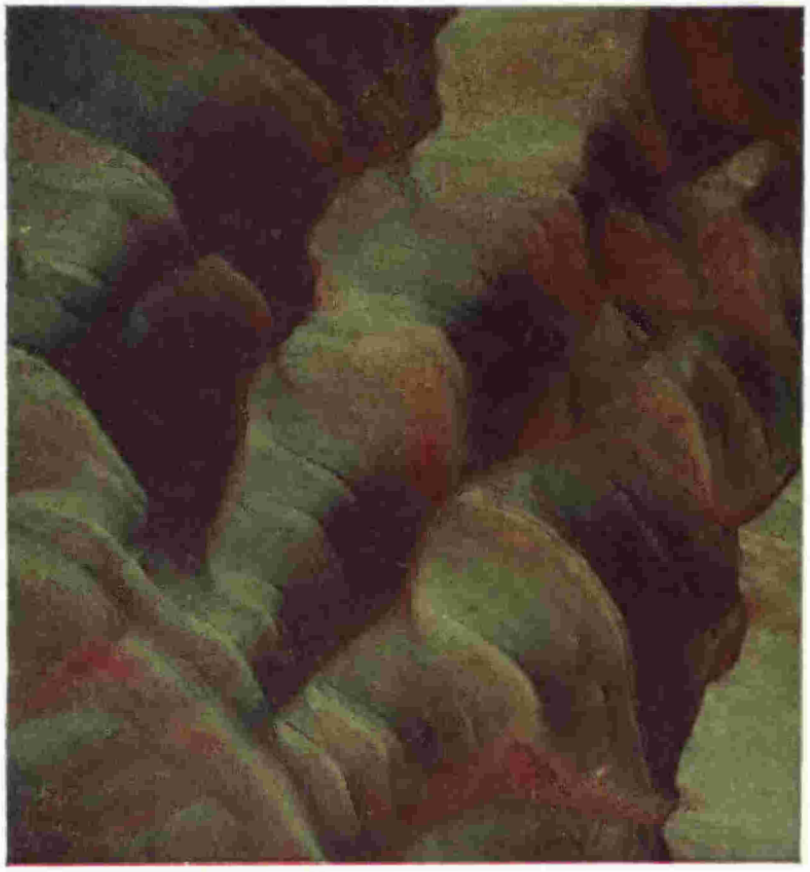
Пока еще геологи большей частью пользуются материалами аэрофотосъемки, произведенной для составления топографических карт на основе фотограмметрических методов. А для геологических работ во многих районах необходима специализированная аэрофотосъемка, учитывающая ряд особых условий. В горах, например, вести съемку лучше всего в середине дня, когда лучи проникают в глубокие ущелья и резко сокращены площади затененных склонов. На равнинах, напротив, утренняя аэрофотосъемка при косом освещении позволяет подчеркнуть детали микрорельефа. В районах распространения лиственных лесов можно провести аэрофотосъемку для геологических целей с наибольшим эффектом глубокой осенью, когда деревья потеряли свою листву. В засушливых областях спектрозональная съемка должна проводиться весной, когда растительность еще не выгорела и лучше подчеркивает участки повышенного увлажнения. Красочный осенний наряд растительности в лесных районах требует проведения аэрофотосъемки на цветных пленках, а густая зеленая летняя растительность — на спектрозональных. Можно привести много других примеров зависимости качества аэрофотоснимков от условий аэрофотосъемки, связанных с погодой, временем суток, сезоном года, развитием растительности и др.

ИЗМЕРИТЬ — ЗНАЧИТ УЗНАТЬ

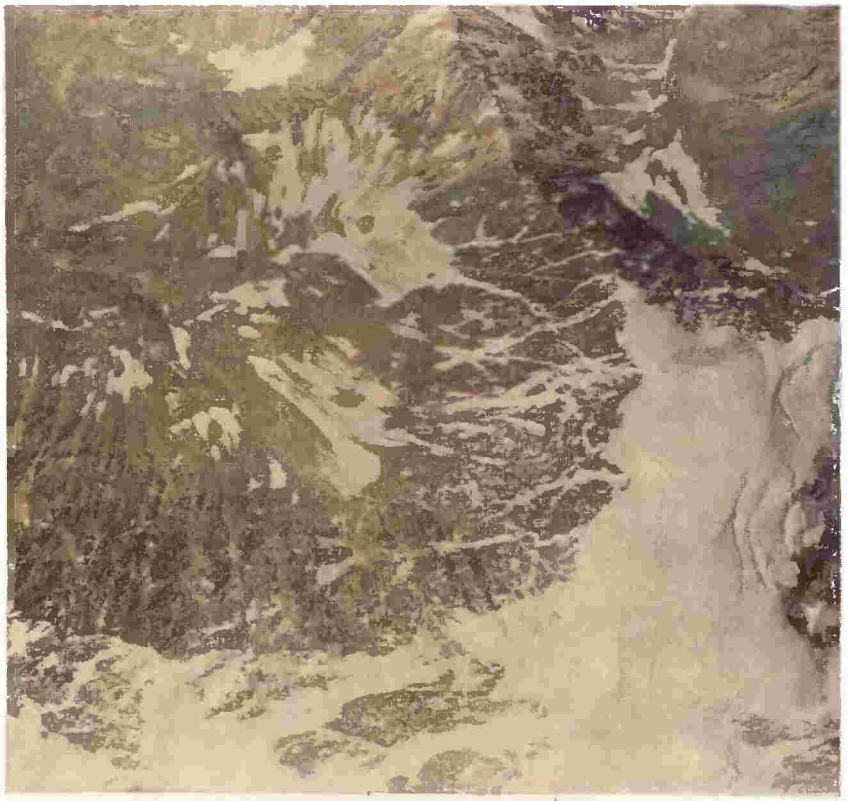
Количественное или измерительное дешифрирование в последние годы стало составной частью аэрофотометода в геологических исследованиях. В настоящее время разработана методика и созданы необходимые приборы для выполнения различных измерений на аэрофотоснимках. В камеральных условиях для этой цели используют геологический стереометр, который позволяет выполнять практически все необходимые геологам измерения со сравнительно высокой точностью. Ведь пара смежных аэрофотоснимков, просматриваемая с помощью стереоскопа или стереометра, дает возможность зрительно воссоздать объемную модель местности, или, как говорят в таких случаях, стереомодель со всеми деталями геологического строения, которые дешифрируются на аэрофотоснимках. В этом — основа для разного рода измерений на стереомодели, которые при помощи несложных формул могут



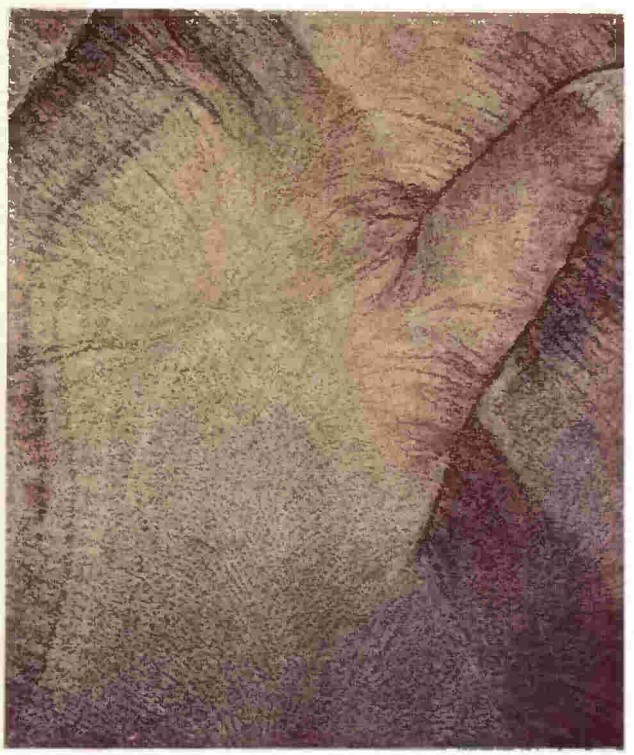




Различные аэрофотоснимки. Складки в мезо-кайнозойских отложениях; на цветных аэрофотоснимках четко выделяются пласты разноокрашенных пород (*вверху, слева*). Другой снимок (*вверху, справа*) получен на цветной пленке, где отсутствует фотослой, чувствительный к синим лучам спектра. Это позволяет использовать при аэрофотосъемке желтый светофильтр, нейтрализующий влияние дымки. При этом цветоразделение пород не ухудшается, несмотря на искаженную передачу цвета. Серия моноклинально залегающих пластов песчано-сланцевых пород (снимок *внизу*). На спектрозональном аэрофотоснимке заросли кустарников выделяются яркими красноватыми пятнами. Четко видимые пласты позволяют с высокой точностью производить замеры элементов залегания и мощностей горных пород на геологическом стереометре



Вверху: девонские вулканогенные толщи высокогорья. На цветном аэрофотоснимке отчетливо видны зоны обохривания и лиственитизации. Теперь ясно, в каких участках следует проводить поисковые работы на ртуть. *Внизу, слева:* вулканогенные толщи девон-карбонового возраста одного из хребтов. В восточной части цветного снимка дешифрируются бурые участки лимонитизированных пород, которые подлежат опробованию в первую очередь. *Внизу, справа:* спектрозональный аэрофотоснимок, на котором четко видны почти горизонтально залегающие пласты горных пород и разрывные нарушения, подчеркнутые распределением растительности



быть переведены на действительные значения, наблюдаемые на местности. Что же измеряют на аэрофотоснимках?

Прежде всего таким путем можно определить элементы залегания слоев. Для этого на аэрофотоснимках достаточно увидеть хотя бы небольшие полоски, соответствующие слоям горных пород. Опытные работы показали, что такие замеры даже более надежны, чем полученные в поле горным компасом. Ведь в геологическом маршруте не всегда можно установить, действительно ли замер сделан в коренных породах, а не в глыбах, смещенных вниз по склону, не замерялись ли наклоны в участке с мелкой гофрировкой слоев, что может привести к неправильному определению структуры. Наконец, бывают участки, где слоистость отчетливо видна на аэрофотоснимках, например, в рыхлых песчано-глинистых породах, где она может быть намечена полосами растительности, а на местности нет площадок, куда бы можно было приложить горный компас.

Если на аэрофотоснимках видны отдельные пачки пород, при помощи стереометра можно произвести многочисленные замеры мощностей и использовать эти данные для построения карты изопахит, т. е. карт, показывающих мощности одновозрастных отложений. Достаточно дешифрировать на аэрофотоснимке контакт интрузивного массива, чтобы определить наклон кровли пласта, что важно при поисках ряда полезных ископаемых. Особую ценность представляет определение наклонов поверхностей смещения у разрывных нарушений, так как при полевых работах эта операция требует особенно большого труда. Стереометр позволяет также производить трассирование выхода на поверхность пласта пород на всем его протяжении, если на аэрофотоснимках видны его отдельные выходы.

Перед количественным дешифрированием открываются большие возможности в геоморфологических исследованиях, где оно существенно облегчит проведение морфометрического анализа. Ведь геологический стереометр дает возможность быстро провести многочисленные замеры террас, крутизны склонов, определить размеры любых форм рельефа, дешифрируемых на аэрофотоснимках.

В некоторых случаях замеры на аэрофотоснимках необходимо делать непосредственно в поле. Для этого пользуются специальными палетками геолога-дешифровщика.

Количественное дешифрирование аэрофотоснимков может найти применение в самых различных отраслях геологических исследований. Можно, например, замерять мощности отдельных слоев, дешифрируемых на аэрофотоснимках, строя на их основе ритмограммы, используемые для сопоставления некоторых толщ, в частности флиша. Другое направление исходит из раскрытия сложных закономерных связей между компонентами природного ландшафта. Интересные исследования определения по аэрофотоснимкам мощности руслового аллювия были выполнены геологом В. Н. Орлянкиным.

Для многих крупных рек, в русловых отложениях которых заключены россыпи алмазов, были построены карты мощностей аллювия не в поле, а во время камеральных работ. На аэрофотоснимках в этих районах хорошо видны веера блуждания рек, намеченные остатками древних береговых валов (рис. 7). Для каждого положения реки в прошлом на аэрофотоснимках можно установить относительную кривизну русла и с учетом ширины реки по соответствующим формулам или номограммам рассчитать мощность аллювиальных отложений. Такие карты могут иметь большое значение при поисках и разведке аллювиальных россыпей, месторождений строительных материалов, а также при разного рода инженерно-геологических изысканиях.

Перспективное направление количественного дешифрирования — спектрофотометрирование. Изучая распределение плотностей фотоизображения, можно подобрать эталоны, характерные для различных ландшафтов и впоследствии придать им форму кода. Сравнивая новые аэрофотоснимки с кодом, электронно-вычислительная машина может оказать помощь дешифровщику в изучении интересующих его объектов.

ПОИСКОВЫЕ КРИТЕРИИ

Дешифрирование аэрофотоснимков постепенно занимает все большее место при поисках полезных ископаемых. Само создание геологической карты неразрывно связано с оценкой перспективности районов и выявлением рудопроявлений и месторождений различных видов минерального сырья. Более того, часто именно дешифрирование аэрофотоснимков позволяет наметить специфические поисковые критерии. Лишь в некоторых случаях непосредственно на аэрофотоснимках удается дешифрировать сами рудные

Рис. 7. Схема мощности руслового аллювия (гравийно-галечных отложений) в пойме реки; изолинии проведены через 1 *м*

тела. Гораздо чаще выделяются зоны измененных пород, к которым приурочена рудная минерализация или разного рода рудоконтролирующие структуры.

Особенно много дешифрирование дает при выявлении складчатых структур, перспективных на нефть и газ. На аэрофотоснимках видны все детали строения так называемых открытых структур, где образующие их пласты непосредственно выходят на поверхность земли. В равнинных областях такие структуры не всегда хорошо выражены в рельефе, но вполне надежно обнаруживаются на аэрофотоснимках, так как пласты горных пород как бы просвечивают через элювиальный покров. Иногда такие пласты подчеркнуты полосчатым распределением растительности (см. вклейку II, *внизу, справа*). Там, где на поверхности развит мощный чехол повейших рыхлых отложений, разработана методика выявления по аэрофотоснимкам погребенных структур. Иногда они выделяются в виде овалов, слабо намеченных микроформами рельефа или округлых пятен темного фототона, так называемых гало.

Часто поднятию соответствуют участки более интенсивной трещиноватости, которая во многих районах отчетливо видна на аэрофотоснимках, в то время как выявление ее на местности требует производства дорогостоящих горных выработок. В этом случае при помощи дешифрирования составляют схемы трещиноватости и выделяют аномально раздробленные участки. Установлены многочисленные случаи, когда пологие платформенные складки испытывают тенденцию к поднятию на протяжении нескольких геологических периодов, включая и современную геологическую эпоху. Таким структурам соответствуют участки неотектонических поднятий, которые при медленном воздымании не получают отчетливого выражения в виде возвышенностей, но сказываются на некоторых особенностях рельефа, и могут быть установлены по косвенным признакам. Особенно чуткие индикаторы новейших движений — это реки. На аэрофотоснимках удается выявить радиальный рисунок гидросети, когда реки растекаются в стороны с растущего крупного поднятия, заметить резкие изгибы речных долин с постоянным смещением русел в одну сторону, когда реки вынуждены огибать поднятие, или определить участки долин с повышенным эрозионным врезом в тех случаях, когда реки успевают прорезать медленно воздымающийся купол. Геологами накоплен большой, пока слабо освещенный в литературе, опыт выявления новейших поднятий по различным, частью весьма тонким косвенным признакам.

При поисках рудных месторождений аэрофотоснимки чаще всего используются для выявления рудоконтролирующих структур. Иногда прямо на аэрофотоснимках можно проследить крупные рудные жилы. Они видны, например, в некоторых случаях среди туфовых толщ, выступая в виде узких скалистых гребешков.

Особенно много аэрофотоснимки дают при анализе разрывных нарушений, с которыми в той или иной степени связана бо́льшая часть рудных месторождений. Благоприятными структурами, несущими оруденение, часто оказываются пересечения разломов различных направлений (или, как их называют, узлы), зоны повышенной трещиноватости, сгустки трещин. В большинстве рудных районов на аэрофотоснимках четко видны проявления трещинной тектоники, так

как разрывные нарушения обычно выражаются прямолинейными понижениями рельефа или полосами растительности, развивающейся более интенсивно вдоль зон передробленных и повышенно увлажненных пород. По аэрофотоснимкам оказывается возможным составить схемы разрывных нарушений и трещин, определить закономерности в локализации связанных с ними рудопроявлениях и наметить аналогичные участки, в которых оруденение пока еще не обнаружено, но которые будут представлять первоочередной интерес для поисков. Это направление в применении аэрофотометода для прогнозирования перспективных участков находится в начальной стадии развития, но обещает дать большие практические результаты.

Дешифрирование аэрофотоснимков давно уже играет важную роль при поисках россыпных месторождений золота, алмазов и др. Изучение материалов аэрофотосъемки помогает оконтурить выходы четвертичных отложений в речных долинах, выявить участки древней гидросети, провести анализ новейших тектонических движений и истории развития рельефа, без чего невозможно детальное изучение россыпных районов. Россыпи тесно связаны с коренными источниками. Иногда поисковики сначала находят россыпь, а потом выявляют коренное месторождение, но бывает и наоборот. При анализе аэрофотоснимков в золотоносных районах удается дешифрировать разрывные нарушения, с зонами которых могут быть связаны многочисленные дайки и золотоносные кварцевые жилы. Осыпи или солифлюкционные полосы в северных районах часто показывает на аэрофотоснимках путь обломочного материала от коренного источника в долину реки. Так можно прийти к открытию россыпного месторождения.

Особенно ценным оказывается применение аэрофотоснимков при поисках разного рода замаскированных россыпей. К ним принадлежат, в частности, россыпи террасоувалов. Такое название в поисковой практике получили речные террасы, до неузнаваемости измененные делювиально-солифлюкционными процессами. Поиски россыпей в таких участках связаны с проходкой большого числа скважин и шурфов, или с проведением электроразведки. Дешифрирование аэрофотоснимков помогает в таких участках выявить площадки, подчеркнутые распределением растительности на склоне, на которых сохранился древний аллювий.

НЕОБЪЯТНЫЕ ПЕРСПЕКТИВЫ

Быстрое развитие аэрофотосъемки открывает пути для проникновения в геологические исследования электронной техники и математических методов. Уже сейчас созданы реальные предпосылки для значительной автоматизации всего процесса дешифрирования аэрофотоснимков и создания геологической карты. Современные электронно-вычислительные машины могут быть в недалеком будущем приспособлены для того, чтобы по заданной программе проводить анализ фотографического изображения с выделением геологических контуров и переносом их на топографическую карту. Одновременно такая машина будет определять все возможные элементы залегания слоев и мощности пластов с точностью, значительно превосходящей полевые замеры. При внесении информации о литологических свойствах пород в соответствии с их эталонным изображением на аэрофотоснимках, электронно-вычислительная машина сможет в ряде случаев давать непосредственно заключение о составе пород. Проводя сканирование изображения с составлением микрофотометрических разрезов, машина будет в случае необходимости усиливать имеющиеся контрасты, отмечая геологические границы, недоступные даже опытному исследователю. Несмотря на сложность решения проблемы, представляется, что именно таким путем может быть в известной степени автоматизирована геологическая съемка — пока еще слабо вооруженная техникой отрасль геологии. При помощи специальных устройств можно будет также быстро извлекать из аэрофотоснимков информацию, необходимую для построения тектонических, геоморфологических, палеогеографических и других карт.

Большие перспективы открываются при использовании для геологических целей радиолокационных аэроснимков. Такие снимки получают, используя радиолокатор, установленный на самолете. Изображение земной поверхности с помощью отраженных радиоволн преобразуется в фотоснимок, который содержит данные, резко отличающиеся от обычных аэрофотоснимков. Радиолокационные снимки позволяют расшифровывать строение горных пород, скрытых растительностью, снегом или маломощным чехлом наносов. Иногда по ним удается определить литологический состав пород, содержание в них влаги, наличие некоторых металлов и другие особенности. Несмотря на несовер-

шенство радиолокационной съемки в настоящее время, перед этим методом исследований открываются широкие возможности, прежде всего благодаря значительной проникающей способности радиоволн, что позволит познать глубинное строение так называемых «закрытых» районов.

Для геологических целей сейчас применяют в основном аэрофотоснимки сравнительно небольшого диапазона, от 1 : 10 000 до 1 : 100 000. Несомненно со временем мы будем работать с иными масштабами. На детальных снимках можно будет выделять мельчайшие особенности в структуре рудных полей, проводить анализ трещиноватости, намечать места для бурения с целью поисков залежей полезных ископаемых, скрытых на глубине. Много ценной информации удастся получить со снимков земной поверхности, произведенных с искусственных спутников. Такие своего рода «микромасштабные космофотоснимки» позволят выявить общие закономерности регионального и даже планетарного характера.

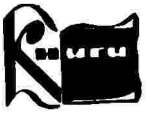
* * *

Известно, что земная кора рассечена многочисленными разрывными нарушениями, отличающимися по протяженности, ориентировке, морфологии и роли в структуре. По мнению одних ученых, крупные разломы образуют планетарную сетку, возникшую в результате ротационных сил, связанных с вращением земного шара. Другие исследователи полагают, что в ориентировке разрывных нарушений нет строгой закономерности, а земная кора просто раздроблена на крупные блоки под действием эндогенных процессов. Эта проблема будет разрешена, вероятно, лишь при планомерном анализе поверхности планеты путем дешифрирования «микромасштабных космоснимков». Выявление региональных разломов, уточнение границ между тектоническими областями и металлогеническими зонами, обнаружение крупных сдвигов в земной коре — в решении этих проблем важное место должно занять дешифрирование.

Начало космической эры ставит новые задачи перед всем комплексом геолого-географических методов исследований. Давно уже фотоснимки, полученные при помощи телескопа, являются одним из основных источников сведений о Луне и других планетах. Постепенно все большее значение приобретают фотоснимки, полученные с помощью космических ракет и переданные на Землю телеустройствами. Именно таким образом была сфотографирована обратная сторона Луны и получены фотографии ее поверхности с близкого расстояния. Уже сейчас, а особенно в дальнейшем детальное изучение лунной поверхности и других планет потребует фотографирования их со спутников, вращающихся по орбитам недалеко от этих небесных тел. Несомненно изучение рельефа, горных пород и структурных особенностей других планет будет вестись на основе материалов такой фотосъемки.

Аэрофотометод стал важным звеном в познании природных ресурсов нашей страны. Перспективы его развития практически безграничны. Дешифрирование аэрофотоснимков составляет неотъемлемую часть геологических исследований, помогая раскрыть несметные богатства подземных кладовых нашей Родины.

УДК 528.7 778.357



Игорь Можейко

НЕ ТОЛЬКО ПАМЯТЬ

Изд-во «Наука», 1965, 135 стр., ц. 43 коп.

Это рассказ об одной поездке в Бирму. Автор объехал почти всю страну. Он был здесь в конце весны, в самое жаркое время года, когда до пяти месяцев не выпадает ни одного дождя, и в период муссонов, когда первый дождь радует, но вскоре становится трудно дышать от насыщенности воздуха влагой. Переезжая вместе с автором из города в город, из деревни в деревню, мы знакомимся с интересными людьми, удивляемся огромным кактусовым зарослям в сухой зоне, где уже не растет рис, а лишь культуры, не требующие воды, восхищаемся синей птицей, необыкновенными гигантами — тиковыми деревьями, прирученными слонами... Мы становимся свидетелями новой жизни бирманского народа, и вместе с тем узнаем много интересного из истории страны. Отдельная глава посвящена описанию храмов Пагана, которыми славится Бирма.

В прошлом сельскохозяйственная, «рисовая», страна, Бирма теперь успешно развивает свою промышленность. Здесь уже выросли свои кадры инженеров, врачей, ученых, которым помогают и советские специалисты.