

РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ НАУК  
СИБИРСКОЕ ОТДЕЛЕНИЕ  
ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ  
ГЕОЛОГИИ, ГЕОФИЗИКИ И МИНЕРАЛОГИИ

*Препринт №4*

**В.С. Юдин**

**СТАНОВЛЕНИЕ  
И ИНФОРМАТИВНЫЕ  
ВОЗМОЖНОСТИ  
ДИСТАНЦИОННЫХ МЕТОДОВ  
ИЗУЧЕНИЯ ПРИРОДНОЙ СРЕДЫ**

НОВОСИБИРСК 1992

Юдин В.С. Становление и информативные возможности дистанционных методов изучения природной среды. - Новосибирск, 1992. - 67 с. (Препр./ ОИГТМ СО РАН; № 4 ).

Выполнены анализ, обобщения известных работ по использованию в природоведении аэрокосмоснимков и упорядочение процедуры распознавания природных образований по фотоснимку. В результате раскрывается сущность, закономерность, объективность информационных возможностей материалов дистанционных съемок (в том числе в отношении глубинных геологических образований). Дается теоретическая основа и познавательно-экономически эффективные методы реализации этих возможностей в геологии, криологии и экологии.

При раскрытии информативной новизны, вносимой материалами космосъемок Земли, акцентируется информационная иерархия масштабного ряда аэрокосмоснимков, отвечающая соответствующему ряду форм, уровней организованности материального мира, и цельность, системность представления природных процессов в отображениях космоснимков определенных масштабов. Из обобщения и анализа результатов дешифрирования, и интерпретации космоснимков устанавливаются закономерности структурообразования в ряде регионов. Дано модельное представление этого процесса. Раскрыта универсальность информативных возможностей производного поля признаков в природоведческом приложении.

Работа рассчитана на исследователей в области природоведческих наук.

## ВВЕДЕНИЕ

Космические материалы благодаря многообразию условий съемок, новизне информативного содержания о природных образованиях и явлениях нашли широкое применение в природоведческой практике. В настоящее время практически во всех сколько-нибудь значимых работах по использованию космической информации для изучения природных ресурсов присутствуют: понимание глубинной информативности космоснимков; раскрытие и приложение индикационной возможности разномасштабных, многозональных снимков; совершенствование методов дешифрирования, повсеместное стремление при этом к использованию ЭВМ; комплексный подход к интерпретации результатов дешифрирования.

В тоже время, наблюдается заметная пестрота в классификационных построениях, в определении информативной приоритетности индикаторов природных образований, методов дешифрирования аэрокосмоснимков. Далекое не однозначны результаты, получаемые разными авторами при дешифрировании одних и тех же космоснимков. Процент космоснимков, используемых в природоведческой практике (от числа получаемых) очень мал. На конференциях всесоюзного уровня (1986, 1987 гг.) констатируется методический застой в использовании космической информации при изучении природных ресурсов Земли. И, как следствие, не используется (не раскрыта) вся информативная полнота материалов космосъемок.

Подобное состояние в научных исследованиях по использованию космической информации для изучения природной среды имеет объяснение. Известно, что по мере углубления знаний в конкретной науке, всегда возникает несоответствие между старыми понятиями и представлениями и новыми открытиями и явлениями. Бурное развитие космических исследований (новое по отношению к аэрометодам) усугубляет это несоответствие (до противоречия). При отсутствии сколько-нибудь должного обобщения, анализа, теоретических основ.

состояния и проблем научных исследований последние ведутся интуитивно. В этом случае на определенных уровнях знаний в соответствующих научных направлениях находить оптимальные методы, формы познания становится все труднее, так как учесть нюансы, в том числе элементы предвидения, во всем многообразии множества выполненных таким образом методических построений, теорий, определений не реально без их обобщения, анализа. Кроме того, любые совершенные методологические исследования дают методы, формы научного познания, действенные до определенного уровня развития науки, так как получены из обобщения, анализа реальных результатов предшествующих этапов научных исследований и, объективно, не могут быть основополагающими, направляющими для всего будущего научных познаний.

К моменту появления космической информации природоведы подошли с совершенной базой знаний - теоретические разработки, методы, понятия, дешифровочные признаки и т.п., которая, естественно, была привнесена и в исследования с космоснимками. Но эта база, совершенная для дистанционных исследований уровня "аэро-съемки", вошла в противоречие с уровнем "космосъемки", что объективно неизбежно. Ее использование, в данном случае, при работе с космической информацией (что практикуется повсеместно) объективно не позволяет в полном объеме увидеть, раскрыть и, соответственно, внедрить в практику земледелия всю полноту новизны, нестандартности информативных возможностей космоснимков.

Очевидно, что уже само понимание, принятие изложенных позиций должно заставить исследователя в таких ситуациях (методическая "запущенность"...), в конечном счете, обратиться к обобщению, анализу накопленных знаний и, естественно, к поиску актуальных, отвечающих требованию времени, форм научных познаний. Для этого выполнены рассматриваемые в настоящей работе исследования по выявлению и реализации информативных возможностей материалов аэрокосмических съемок. Научный подход, используемый в них, позволил предвидеть указанные ситуации и, соответственно, избежать их (в том числе методическую "запущенность").

# Глава I. ОБОСНОВАНИЕ ИНФОРМАТИВНЫХ ВОЗМОЖНОСТЕЙ ДИСТАНЦИОННЫХ МЕТОДОВ ИЗУЧЕНИЯ ЗЕМЛИ

## § I. Становление дистанционных методов изучения природной среды

С момента возникновения аэросъемки фотографический материал прежде всего применяется в ландшафтоведении. Еще в 20-е годы фотоснимки входят в практику топографических работ, сельского и лесного хозяйства (Высоцкий, 1962; Гонин, 1982 и др.).

Ландшафтоведческий уклон в начале исследований по изучению природных ресурсов Земли (ИПРЗ) с помощью аэрофотоснимков естественен, ибо фиксируемое фотоснимком яркостное поле представляет собой непосредственное отображение элементов ландшафта. Это упрощает их дешифрирование в сравнении с геологическими объектами, которые перекрыты этими элементами. Первоочередность познания ландшафтных образований объясняется тем, что они используются в последующем как индикаторы "скрытых" геологических объектов. Кроме того, с увеличением высоты съемок (при выполнении их с летательных аппаратов) уменьшается масштаб измерения (видения) земной поверхности (ее яркостных характеристик) и в этом масштабе в отличие от наземных измерений поверхность представляется образованиями, отвечающими более высокому уровню организованности природы, изучение и использование которых составляет прежде всего предмет ландшафтоведения.

Изложенное, по всей вероятности, и определило указанный уклон в первых исследованиях по использованию аэрокосмоснимков в ИПРЗ. Направление этих исследований отражается в названиях работ того времени: "Аэросъемка в географии" (Келль, 1933); "Значение аэросъемки в изучении растительного покрова пустынь СССР" (Петров, 1936); "Руководство по лесному дешифрированию..." (1939); "Применение материалов аэрофотосъемки для гидрогеологического изучения болот" (Галкин и др., 1949); "Применение ... аэрофотосъемки в лесном хозяйстве" (Самойлович, 1963) и другие.

По всей вероятности, время выхода фундаментальной работы этого направления (Кринов, 1947) объясняется необходимостью накопления достаточного банка данных о яркостном поле ландшафта и их обобщения. В последующем появляются публикации (Кастров, 1955;

Козлов, 1955; Пятковская, 1960; Шаронов, 1963 и др.), раскрывающие возможности идентификации природных образований (ПО), непосредственно отображающихся на аэрофотоснимках, по присущим им оптическим характеристикам.

В дальнейшем характер исследований "ландшафтного" направления определяется все более широким внедрением в природоведческую практику аэро- и затем космоснимков. Б.В.Виноградов (1976) дает детальное описание спектральных коэффициентов яркости ( $Z_\lambda$ ) различных ПО и их соотношений. Им раскрываются частотно-контрастные, частотно-пространственные, частотно-временные характеристики географических объектов, позволяющие не только распознавать эти объекты на снимке, но и задавать оптимальные параметры космосъемки. Аналогичные выкладки приводит Л.А.Богомолов (1976). Он дает информативную (при дешифрировании) таблицу яркостных контрастов, предлагает эталонное дешифрирование. Выбор эталонов основан на статистическом установлении закономерностей изображения на снимках соответствующих природных образований. Ю.С.Толчельников, Т.М.Хазанова (1973) выделяют ландшафтные образования по оптическим свойствам, измеряя ряд параметров: средний коэффициент яркости, различные соотношения коэффициентов спектральных яркостей, интервал яркостей и другие характеристики (в том числе связанные с геометрией элементов ландшафта). Ю.С.Толчельников (1974), Н.Ф.Афанасьев (1970), Г.А.Сергеев, Д.А.Янтуш (1973), Л.А.Богомолов (1976) и другие классифицируют ландшафты, используя характерные для них значения функций - автокорреляционной и статистической спектральной плотности, или другие статистические критерии. Вообще для спектрально-фотометрического метода характерно внедрение статистических обработок - непосредственно аэроснимков, их цифровых моделей, регистрограмм, полученных в результате микрофотометрического профилирования снимка.

В практику геологических работ аэрофотоснимки входят в 30-е годы (Высоцкий, 1962; Гонин, 1982 и др.). В это время, согласно вышеизложенному, все шире ведутся теоретические разработки, практические исследования по использованию их в изучении ландшафтных образований. Индикационная роль ландшафтов в восприятии их на уровне аэроизмерений ("аэроландшафтов", Богомолов, 1966) по отношению к скрытым геологическим объектам еще мало изучена. Но для открытых районов изложенные в работах приемы, результаты иссле-

дований по изучению оптики ландшафтов, спектро-фотометрический анализ эффективны и в геологическом приложении. Демаскируют геологические объекты и геометрические их особенности (признаки), доступные наблюдению (проявляющиеся) практически в любой местности. Все это, наряду с опытом, знанием причинно-следственных связей между геологическим строением и элементами ландшафта, накопленными еще до использования аэрометодов в изучении природных ресурсов, позволило природоведам уже в этот период ввести в практику геологических исследований аэрофотоснимки (Гавеман, 1937; Мирошниченко, 1946 и др.).

Многообразие, полнота, новизна поставляемой аэросъемкой информации о ПО (в сравнении с наземными методами их познания), эффективность ее приложения в геологических исследованиях стимулируют развитие, совершенствование методов использования аэрофотоснимков в геологической практике. Глубже и шире познается причинная, пространственно-временная взаимосвязь различных компонентов ландшафта, становится привычным использование ее в качестве геологического индикатора (Викторов, 1949; Мирошниченко, 1954, 1959; Петрусевич, 1954; Петрусевич, Казик, 1955; Виноградов, 1955, 1957; Михайлов, Тихомиров, 1955; Лунгерсгаузен, 1955; Геоботанические методы..., 1955; Васильев, 1957 и др.).

Так постепенно, в объективно-неизбежном развитии, создается основа ландшафтного метода геологического дешифрирования аэрокосмоснимков, эффективно используемого и в настоящее время (Мирошниченко, 1961, 1966, 1971; Петрусевич, 1962; Альтер, 1966).

К концу 60-х началу 70-х годов ландшафтный метод заметно трансформируется под влиянием космической информации. Генерализация, обзорность, вносимые космосъемкой, позволили перейти к изучению Земли с таксонными единицами, представляющими крупные природно-территориальные комплексы (ПТК) и компоненты ландшафта, составляющие в аэрометодах предмет изучения. В результате на первый план (в соответствии с масштабом космоснимков) выступают структурные характеристики природных образований. Естественно, что ландшафтные или какие-либо другие индикаторы, используемые при геологическом дешифрировании, должны включать эти характеристики. Вероятно, вследствие изложенного и появляются в указанный период (время заметного внедрения космоснимков в практику геологических исследований) работы, в которых в ландшафтном методе

все весомее звучит структурный оттенок (Мирошниченко, 1971; Севостьянов и др., 1973; Абросимов и др., 1974; Скарятин, 1973, 1976; Соловьева и др., 1976).

Многообразие, полнота информации, вносимой космической съемкой (по сравнению уже с аэрометодами), расширили привычный для природоведа банк фотоинформации о нашей планете как в количественном, так и в качественном отношении. Естественно, необходимо было время для осмысления этой информации, создания оптимальных методов ее использования в геологии. В этом просматривается дальнейшее становление ландшафтного метода дешифрирования космоснимков.

Так, В.И. Орлов (1975) в своей монографии раскрывает не только закономерности пространственного соотношения компонент ландшафта, но и весь комплекс их взаимосвязей во временном развитии, а также дает приемы, примеры, логическую сторону познания этого развития, изучает динамику всей географической среды как единого целого. С.И. Стрельников ("Космическая фотосъемка.", 1975) выделяет прямые структурно-геологические признаки при геологическом дешифрировании, отмечая существенную индикационную роль ландшафта только в закрытых районах. Я.Г. Кац с соавторами (1976) и М.Л. Кошп ("Геологическое дешифрирование...", 1981) используют информативность соответствующих компонент и элементов ландшафта при дешифрировании геологических образований. Исследования И.К. Волчанской (1979) раскрывают эффективность использования метода морфоструктурного анализа при геологическом дешифрировании космоснимков. Здесь вносимая космосъемкой генерализация позволяет непосредственно по снимку выявить морфоструктурный план исследуемой территории, минуя сложные морфометрические построения. Классическим примером использования ландшафтного метода при геологическом дешифрировании космоснимков (и для настоящего уровня его развития) является работа Л.И. Соловьевой и др. (1981). Авторы используют космоснимки нескольких уровней генерализации. По мелкомасштабным (континентальный уровень) они выделяют структурные элементы, отражающие основные закономерности регионального тектонического строения. Затем эти закономерности как "направляющие" используются при выявлении и картировании по космо-

сняткам низших уровней генерализации, более детальных структурных элементов. Результаты дешифрирования фиксируются в виде ландшафтных карт и схем. Геологическая интерпретация последних основана на анализе указанных ранее причинно-следственных связей. При этом могут использоваться результаты других исследователей, представленные также в виде карт, схем или таблиц (Матвеев, 1982). Обобщение полученных таким образом данных позволило авторам, используя соответствующие закономерности этих связей и ряд положений о структурном плане, получить не только новые сведения о геологическом строении региона, но и о его новейшей геодинамике.

Все известные варианты ландшафтного метода дешифрирования аэрокосмоснимков со всеми их нюансами, определяемыми объектами исследований, окружающей их средой, индикаторами этих объектов и многообразием их взаимосвязей, составляют довольно представительный банк информации методических разработок по распознаванию ПО на аэрокосмоснимках. В этом банке отсутствует какое-либо упорядочение (имеется ряд классификационных построений дешифровочных признаков), но объективная потребность в систематике всей процедуры распознавания назревает. Можно, вероятно, считать следствием этой потребности появление работ (Афанасьев, Можаяев, 1981; Афанасьев и др., 1981), в которых геологические объекты, явления, их индикаторы и связи рассматриваются в качестве геоиндикационной системы. Процесс распознавания ПО представлен в виде системы, а ее компоненты, их место, ранг, связи описываются на едином методологическом уровне. В конечном счете это позволяет найти оптимальные решения в процедуре дешифрирования аэрокосмоснимков, достичь корректности использования при этом формального аппарата.

Обобщения и анализ всех нюансов геоиндикационного метода дешифрирования, выполненные Б.Н.Можаяевым, А.Г.Жученко (1984), позволили им вскрыть ряд негативных моментов в его приложении и наметить перспективы развития. Представляется уместным привести здесь одно их замечание, раскрывающее потенциал геоиндикационных возможностей космоснимков: "До сих пор не изучено явление изменения ранга природных индикаторов вследствие естественной генерализации при уменьшении масштаба съемок. Изменения интегральной оптической яркости и частотно-контрастных характеристик

природных объектов создают новую структуру изображения, что безусловно необходимо учитывать при геоиндикационных исследованиях" (Можаев, Жученко, 1984, с.64). Это замечание созвучно приводимым ниже положениям, требующим от исследователей качественное новое подхода к дешифрированию космоснимков.

Как уже отмечалось, с уменьшением масштаба снимка в дешифрировании возрастает роль геометрических и структурных признаков, которые находят применение практически во всех работах по геологическому дешифрированию космоснимков. Заслуживает внимания форма представления отдешифрированных линеаментов в виде роз-диаграмм, регистрограмм, гистограмм, отражающих обобщенные данные об их простирании, размерах, плотности (Космическая фотосъемка, 1975) для поиска оптимальных вариантов геологической интерпретации этой информации. О.М.Борисов, А.К.Глух (1982) классифицируют кольцевые структуры и линеаменты среднеазиатского региона. Эта информация в комплексе с геолого-геоморфологическими и геофизическими данными используется в изучении структуры земной коры (Борисов и др., 1985). Эффективность этих признаков в совокупности с информативностью разномасштабных снимков позволяет выявить структурно-геологические особенности областей - от континентального уровня генерализации до оконтуривания естественно-генетических ассоциаций горных пород (Космическая информация..., 1983). Особый оттенок структурный анализ космоснимков приобре

поверхности Земли информация о ее глубинных горизонтах (Космическая информация..., 1983). Повышает информативность рассматриваемого метода дешифрирования учет пространственно-временной, причинно-следственной связи структурных элементов Земли и ее динамики как индикаторов (Юдин, 1981, 1983, 1986).

Отдельной группой представляются различные варианты корреляционного анализа космоснимков. Суть его состоит в том, что при геологическом дешифрировании содержание космоснимков сопоставляется с геофизическими и другими априорными данными. Различие вариантов здесь определяет: форма представления; набор коррелируемых полей измерений; объект исследования; район работ; операции и последовательность их выполнения. А.В.Доливо-Добровольский (Космическая фотосъемка..., 1975) предлагает два варианта, отличающихся стадией завершенности процесса геологического дешифри-

рования космоснимков, сравнивает готовые схемы результатов дешифрирования или постоянно обращается к априорной информации в течение всего процесса дешифрирования. В указанной работе затронута проблема соответствия масштабов той и другой информации. Геофизические данные используются не только при выделении контуров, но и при их "опознавании". Это немаловажно, если учесть, что роль ландшафтных индикаторов при дешифрировании мелкомасштабных космоснимков заметно снижается.

П.Ф.Флоренский, А.С.Петренко (1978), представляя оптическое поле в изолиниях (эквиденситах) и используя ЭВМ, находят коэффициенты корреляции его с гравиметрическими, магнитными полями и неотектоническими движениями, также представленными в изолиниях. Характер связей этих полей между собой и с представляемыми ими геологическими объектами, явлениями они отражают в таблице. На схемах в изолиниях даны коэффициенты корреляции этих полей. Соответствие сравниваемых материалов по уровню генерализации осуществляется с помощью палеток разных размеров. Эти же исследователи (Космическая информация..., 1983) приводят гистограммы соотношений площадей с разной корреляцией в зависимости от окна палетки и коэффициента корреляции.

Необходимо отметить, что структурный рисунок представляемого в эквиденситах или других формах фиксирования оптического поля снимка определяется уровнем (интервалом) квантования. В результате оптическая плотность одного снимка может быть представлена десятком вариантов. Аналогичное имеет место и при представлении геофизических полей. Затруднительно в таком случае (действую согласно изложенным в указанных работах схемам) найти корреляционные связи, отражающие истинную картину. При поисках этих связей необходимо учитывать отмеченные нюансы и использовать не только разномасштабные снимки, но и все многообразие предоставляемой космосъемкой фотоинформации (снимки разных диапазонов, времени съемки и др.) (Юдин, 1981).

В развитии перечисленных выше исследований по использованию аэрокосмической информации для изучения природных ресурсов просматриваются три эпохи, которые отличают как содержательный уровень фотоинформации, так и предмет исследований.

До 50-х годов в распознавании ПО по фотоснимкам преобладает спектрально-фотометрический анализ.

Различия вариантов этого метода составляют: используемый банк спектральных характеристик объектов; параметры полей измерений (в основном поля яркости); способы обнаружения и выделения ярких аномалий в оптической плотности снимка. Указанная возрастная граница эпохи спектро-фотометрического метода определяется эффективностью, приоритетом его использования в распознавании ПО на снимках (но не исключением других методов). Как ранее отмечалось, ими в это время являлись объекты, составляющие ландшафтные образования.

В дальнейшем спектро-фотометрический метод совершенствуется, развивается и уже присутствует как элемент в более сложной структуре ландшафтного анализа при геологическом дешифрировании снимков, где предметом изучения являются геолого-геоморфологические образования.

Структурный анализ фотоснимков выполняется при ландшафтном и спектрально-фотометрическом методах дешифрирования. С внедрением в геологическую практику материалов мелкокомасштабной космосъемки, содержащих сведения о региональных и глобальных геологических образованиях, информативная роль этих методов уже не достаточна. Приоритет оказывается на стороне структурно-геологического метода дешифрирования. В то же время остается необходимость изучения ПО, составляющих предмет исследований ландшафтного метода.

70-е годы – время широкого внедрения в геологическую практику материалов средне-мелкокомасштабной космосъемки – можно считать началом эпохи комплексного дешифрирования дистанционной фотoinформации.

Не трудно видеть, что каждая из перечисленных эпох в развитии методов дистанционного изучения Земли в оптимальном варианте включает характерное только для нее соотношение: объект исследования – материалы аэрокосмосъемок (разных масштабов, диапазонов, времени съемки и др.) – метод дешифрирования (исследования). т.е. в результате несложного анализа, обобщения известных работ по дистанционному зондированию Земли вскрывается информативная приоритетность соответствующих методов дешифрирования, индикаторов, масштабного, диапазонного ряда аэрокосмоснимков. Это позволяет определить эффективность, приемлемость каждого из них в решении соответствующих природоведческих задач, увидеть их

место в познавательном ряду космической информации используемой в изучении природных ресурсов. Но в самом процессе дешифрирования всего многообразия ПО мы оперируем множеством признаков, сложным, зачастую не раскрытым информационным содержанием космоснимков, данными об окружающей среде и др. Все это представлено в различных вариантах взаимосвязи. Очевидно, что в таком случае сам процесс распознавания ПО и задействованные в нем элементы невозможно представить сколько-нибудь совершенной информационной системой без упорядочения процедуры распознавания ПО, включающего определения, классификационные построения и другие операции, отвечающие этому процессу.

## §2. Упорядочение процедуры распознавания природных образований

В известных классификационных построениях толкования понятий "дешифрирование", "интерпретация" наблюдается большая несогласованность. Большинство исследователей определяют признаки распознавания природного образования по аэрокосмоснимкам как дешифровочные и делят их на прямые и косвенные. М.Н.Петрусевич (1962) к прямым признакам относит геометрические и фотограмметрические, а косвенные классифицирует по генезису компонентов ландшафта, служащих индикаторами геологического строения, и подразделяет на геоморфологические, геоботанические, антропогенные, зоогенные. У Б.П.Высоцкого (1962) классификация основана на выделении признаков, присущих местности и снимку, и только снимку. В.Н.Брюханов (1966) предлагает исходить из признаков геологических объектов на местности и из того, как они отображаются на снимках. При этом "прямые" и "косвенные" признаки он отождествляет с понятием степени достоверности геологического дешифрирования. В выделяемой им группе дешифровочных признаков (ДП) — текстура, структура фотоизображения, рельеф, цвет, тон, форма, размер, конфигурация границ, растительность — нет единой основы, не соблюдена иерархия. К примеру, два последних признака определяются предыдущими. Кроме того, в этой группе рядом с ДП — растительность мы правомерно поставим гидрографию, почвы и другие элементы ландшафта.

М.П.Кооп и др. (Геологическое дешифрирование..., 1981) перечисляют ДП без деления на "прямые" и "косвенные", а предлагают выделить в них 2 группы: "общие" или "формальные" (оптические и

геометрические), которые отражены на снимках, и "специальные". Вторые в зависимости от метода анализа делятся на индуктивные и дедуктивные. Здесь усматривается нарушение иерархий ("общие" включают и "специальные") в равноправных классах ДП. Позднее М.П. Кооп в соавторстве с Э.Р. Румянцевой (1982) класс "специальные" делит на структурно-геоморфологические и ландшафтные.

А.В. Доливо-Добровольский, С.И. Стрельников (1976) резонно указывают на перераспределение роли ДП при переходе от аэро- к космическим снимкам: значимость структурно-геологических увеличивается, а геоморфологических уменьшается. Кроме указанных они выделяют физико-геологические, проявления которых связаны с физическими свойствами горных пород (сюда они относят тоновые и некоторые геоморфологические), и ландшафтные, не связанные непосредственно с геологическими объектами.

Несогласованность, неоднозначность классификационных построений и определений в научных методах, вызывают аналогичные явления и в теоретических разработках, как бы совершенны они не были во всех других отношениях. Поэтому, прежде всего необходимо свести эти недостатки к минимуму. Для устранения неоднозначности в толковании терминов "дешифрирование" и "интерпретация" нужна строго ограничить круг этих понятий. Но чтобы не увеличить число толкований этих терминов еще на одно, будем исходить из общепризнанных, объективных законов, гипотез, моделей, принципов. Только в этом случае можно говорить о соответствующей универсальности предлагаемых определений.

Закодировать, зашифровать, а значит и распознать, расшифровать, дешифрировать в каком-либо фиксированном поле измерений через соответствующий шифр, код мы можем только конкретный объект, воспринимаемый нами в этом поле через его свойства. В противном случае невозможно создать и, соответственно, воспринять сколько-нибудь действенные однозначные законы кодирования.

Указанные действия, ввиду того что конкретные представления об объекте мы получаем через зрительный анализатор (Боголюбов, 1976), способный воспринять только световое поле (видимый диапазон электромагнитных волн), выполнимы с материалами, фиксирующими природные образования через их яркостное (световое) поле, то есть с фотоснимками.

Информация, содержащаяся в геофизических полях, не может

дать подобного представления об объекте. Ибо, как уже отмечено, непосредственное зрительное восприятие этих полей невозможно. А другие органы чувств человека по своей природе не могут дать подобного восприятия объектов, то есть мы физиологически не способны "дешифровать" материалы, фиксирующие эти поля, так как нельзя увидеть в них природные объекты, конкретно не представленные ими. В данном случае предположительно, всегда с какой-то долей неопределенности, мы ведем объяснение, толкование их содержания.

Таким образом, при разграничении понятий "дешифрование" и "интерпретация" мы можем принять физиологическую основу, что позволяет сделать следующее определение.

Дешифрование космоснимков - это процесс, включающий в себя действия по распознаванию на фотоснимке конкретных, визуально воспринимаемых природных образований.

В этом процессе, как в одном из этапов неты с помощью фотоизображений, выделяется на той же физиологической основе несколько подэтапов.

Вторым этапом при изучении Земли с использованием ее фотоизображений является интерпретация. Это логический процесс познания нашей планеты, направленный на выявление геологической информации из результатов дешифрования фотоснимков и геофизических данных. Как отмечалось выше, элементам Земли, явлениям, выявляемым на данном этапе, не свойственны конкретные очертания. К примеру, мы можем отдешифровать разрывное нарушение, но глубинный разлом, его кинематический тип - интерпретировать. И здесь можно выделить ряд подэтапов:

При определении содержательной части обоих этапов прямо или косвенно участвуют признаки распознавания ПО, которые, как операционные элементы, и раскрывают это содержание в соответствующих полях измерений.

Нельзя дешифровать геофизические поля. Они не могут нам дать, согласно указанным ранее физиологическим возможностям, дешифровочные признаки какого-либо конкретного природного образования, ибо не отражают его. Они фиксируют какое-либо одно свойство материи: гравитационное - силу тяжести (вес), магнитное - намагниченность и т.д. и раскрывают через свои дифференцированность

речь в таком случае о каком-либо дешифрируемом в этих полях геологическом объекте некорректно. Характеристики яркостного поля (цвет, тон, геометрия и другие) наоборот несут информацию о комплексе свойств, позволяющих распознать с учетом "физиологических возможностей" конкретное природное образование. Здесь, согласно ранее изложенному, приемлем термин "дешифрирование" и соответственно

Интересно отметить, что если какое-либо из геофизических (не яркостных) полей представлено фотографией и рисунок поля определяется каким-либо свойством объекта, воспринимаемым зрительным анализатором, то термины "дешифрирование", "дешифровочный признак" становятся приемлемыми (мы видим конкретные свойства объектов в оптическом поле снимка). Так, инфракрасные снимки (тепловое поле) дают форму, размеры природных образований, и мы в отношении этих снимков используем интуитивно эти термины.

И, наоборот, если яркостное поле объекта (космоснимок) представлено в графическом виде эквиденситами, то мы уже не используем термин "дешифрирование", "дешифровочные признаки", так как здесь объект, его свойства представлены усредненно, расплывчато. Кроме того, в данном случае, зрительным анализатором воспринимаются свойства объекта не через яркостное, привычное для него поле, а характеристиками, требующими логического их анализа.

Таким образом, при классификации признаков распознавания ПО также вступает в силу принцип физико-физиологических возможностей.

Поэтому понятию "дешифровочный признак" можно дать следующее определение – это свойства объектов, проявляющиеся через его яркостное поле на снимке (закодированные яркостным полем) и дающие конкретную информацию о нем. Согласно этому определению они являются элементами этапа "дешифрирования" в предлагаемой схеме упорядочения процедуры распознавания ПО (табл. I), т.е. оперируя ими, мы можем выявить объекты только уровня – этапа "дешифрирования".

На втором этапе – **интерпретация**, признаками распознавания являются объекты, их сочетания, свойства, полученные в результате дешифрирования аэрокосмоснимков и из других измерений (геофизические и др. данные). Назовем пока их условно интерпретационными. С помощью этих признаков выполня-

Таблица I

Этапы	Свойства природных образований	Признаки распознавания природных образований	Исследуемые объекты	О тическое поле снимка	
I	2	3	4	5	
Дешифрирование	Размеры	Размеры	Поверхностные природные образования	+	
	Форма	Форма		+	
	Пространственное положение	Пространственное положение		+	
	Цвет	Цвет		+	
	Тон	Тон		+	
Дешифрирование-интерпретация	Физико-химические характеристики (ФХХ)	Спектрально-фотометрические. Структурно-геоморфологические. Закономерности связи: ФХХ - экзогенные процессы - фототон	Поверхностные и при оверхностные ПО	+	
	Пространственная взаимообусловленность	Причинно-следственные связи		+	
	Генетические связи ландшафтных образований	Закономерности генетических связей ландшафтных образований		+	
Интерпретация	Генетические связи ПО	Закономерности геологической обусловленности индивиду ностей ландшафтных образований	Глубинные геологические образования, процессы (уровни осадочного чехла)	+	
	Кинематические, динамические	Изменение фототона и геофизических полей в зависимости от кинематики, напряженного состояния земной коры		Кинематические, динамические процессы	?
	Вариации свойств	Изменение фототона (производный признак). Закономерности, обуславливающие пространственно-временное изменение свойств природных образований		Изменения в окружающей среде и природных образованиях и через эти изменения геологические, и географические образования	?

Примечание. Указатели возможности выявления данного свойства через индикаторы в конкретном признаковом поле (+) и отсутствия такового (?).

ются различные логические построения, научные толкования. Они являются повсеместным элементом научных познаний. Их множество дополняется разнообразием их сочетаний. В геологии это весь набор информации, в результате анализа которой, мы получаем сведения о строении, составе, эволюции нашей планеты. В фотографической информации – это все элементы ландшафта, их характеристики, выявленные по аэрокосмоснимкам.

Деление признаков на указанные классы на физиологической основе позволяет понять и устранить в дальнейшем некоторые неопределенности, путаницу в рассмотренных ранее классификациях, в которых опущен этот высший уровень деления признаков распознавания природных объектов и, естественно, не учтены совсем, или использованы не на соответствующем уровне, принципы их выделения. Этим и объясняется большая часть указанных выше неточностей. Даже столь резонное замечание В.Н. Брюханова (1966, с. 52) о неприемлемости термина "дешифровочные признаки" при геологическом дешифрировании из-за неконкретизации выявляемых при этом объектов и замене его на "диагностические признаки" звучит неубедительно, так как при геологическом "дешифрировании" также есть этапы выявления конкретных объектов. Наоборот, при выполненной в настоящей работе систематике процесса распознавания природных образований, это замечание не только уместно, но и является определяющим по отношению к признакам, но только интерпретационного этапа. В той же мере изложенное можно отнести и к выделению без учета указанных выше категорий прямых, косвенных, комплексных, основных, специальных, ландшафтных, геоморфологических и других типов признаков.

Как любая специализированная система, классификация признаков определяется целью исследований – в данном случае распознаванием природного образования по космоснимкам. Трактовка ее в такой общей форме может способствовать выделению только категорий высшего уровня – дешифровочные, интерпретационные типы признаков. Для определения низших категорий желательно ее постановка, конкретизация на всех иерархических уровнях системы, т.е. в оптимальном варианте мы должны видеть в каждой следующей (нижней) категории системы классифицированное построение, определяемое более узкоспециализированными **задачами (чем в предыдущей)**, направленными в итоге на достижение конечной (высшей) цели. Кро-

ме того, нельзя не учитывать, что категории признаков находятся как элементы единой системы в определенной связи с другими категориями, занимают соответствующее место в ее иерархической лестнице. Эти положения явились определяющими как при выборе основ классифициционных построений, так и места, ранга соответствующих категорий в систематике процедуры распознавания геологических объектов по аэрокосмоснимкам.

Цель создания какого-либо банка признаков распознавания ПО (природных образований) — выявление по ним в фиксированном поле измерений свойств геологических объектов, самих объектов. Значит, согласно вышеизложенному, основой классифициционных построений процедуры распознавания ПО в оптимальном варианте должны быть свойства объектов. Но эти признаки зачастую представляют собой сложные закономерности проявления свойств одних объектов в аномалиях других. И поиск указанного "оптимального варианта" затрудняется. В этих случаях возникает необходимость использования других принципов, но суть их должна быть близка к этой "стержневой" основе классификации. Эта близость в конечном счете определяет их приемственность (эффективность).

При непосредственном (контактном) изучении природные образования обнаруживают себя дискретностью физических, химических свойств, размеров, морфоструктурой, текстурой, пространственно-временными координатами. При фиксировании их дистанционными методами (геофизические, фотографические и др.) они проявляются в соответствующем поле измерения, закодированными соответствующим полем признаков.

В случае, когда объекты кодируются непосредственно яркостным полем, текстуре, структуре фотоснимка. И, естественно, беря их за основу классификации, можно выделить геометрический, тоновой, цветовой и другие типы признаков. Их элементы (красный, круглый...) так же, как "атом, определяющий нижний предел структурно-вещественного расчленения элементов Земли, является исходным материалом в ранговом ряду от минеральных групп до глобальных" (Вотак, 1979), являются исходными "кирпичиками" в ранговом ряду классифициционных построений признаков распознавания природных образований. Они неделимы и единицами низшего ранга, участвуют в построении, определении указанных категорий рассматриваемой клас-

сификации. Как начальные, исходные, используемые при выделении любого природного объекта по фотоснимку, они являются общими в процедуре распознавания ПО, что позволяет отнести эти признаки и перечисленные выше их типы к подклассу "общие признаки".

Очевидно, что общие признаки дают нам в оптическом поле снимка через геометрию, фототон, цвет (соответственно, текстуру, структуру, спектральные характеристики) информацию о поверхностных ПО. Но даже не все элементы ландшафта доступны нашему наблюдению. Так, почвы покрыты лесной растительностью, мох в болотах — пушицей и т.д. Почвы, в свою очередь, связаны с литологией подстилающих пород, а с их гранулометрическим, минералогическим составом, влажностью — вид покрывающей их растительности. Последняя является в данном случае завершающим внешним звеном единого комплекса. Естественно, что истолкование (заметим, что здесь уже не подходит термин — дешифрирование) фотоаномалии, определяемой соответствующей растительностью, при определении внутренних (скрытых) элементов этого комплекса — почв, литологии осадочных, коренных пород — необходимо давать на генетической основе. Аналогично выявление погребенной складчатости (через влияние на фототон структуры, состава слоев слагающих их пород), глубинных разломов, их кинематического типа и т.д. В таких случаях наступает момент, когда мы имеем дело с объектами, явлениями, для распознавания которых недостаточно информативности признаков подкласса "общие".

Основой классификации признаков в данном случае является форма их проявления на поверхности Земли, а название выделенных при этом типов может (должно) быть созвучно названиям форм проявления: структурно-геологические, физико-геологические, ландшафтные, геоморфологические.

Эти признаки можно назвать специальными. Во-первых потому, что если что-то есть общее (общие признаки), то оно должно быть на фоне чего-то частного, специального. Во-вторых, они используются в более конкретных (специальных) научных дисциплинах, изучающих нашу планету.

Перечисленные типы "специальных" признаков определяют наличие соответствующего природного образования по воздействию его атрибутов на физические, химические, геометрические и т.п. свойства других объектов.

Часто при дешифрировании аэрокосмоснимков мы сталкиваемся с ситуацией, когда взаимоотношения объектов иные. Одни из них в силу своей сущности создают условия наибольшего благоприятствования для присутствия в соответствующем месте, виде других. Так, понижение в рельефе может быть благоприятным условием для стока вод, но не обязательным; брод определяет место положение дороги, постройка которой вызвана, естественно, другими причинами. Эти признаки большинство исследователей относят к типу косвенных, входящих в класс общих (дешифровочных) признаков. Некоторая их неудачность в этимологическом отношении, отмечаемая М.Л. Коопом (Геологическое дешифрирование..., 1981, с.148), в данном случае устраняется четкостью основ классификации. Возможна, с этой целью и для отражения более глубокого понимания их содержания, замена термина "косвенные" - на "индикационные".

Как уже отмечалось, признаки общего и специальных классов обычно относят к одному рангу в классификационных построениях. Но геометрические, тоновые и т.д. признаки определяют элементы ландшафта. В свою очередь последние, в различных сочетаниях, отражая соответствующие закономерности соотношений являются признаками специального класса. К примеру, первые несут информацию о расчлененности рельефа, простираении линейных структур, контролируемых ими водостоках (в т.ч. палеостоков), почво-растительном покрове и др. Эта информация, в свою очередь, используется при определении ДЗК, петрографии, разломно-блокового строения, глубинных образований. Изложенное, согласно определению элементов меньшего ранга - "это всегда объекты, с помощью которых описывается структура (1979), позволяет отнести общий класс к более низкому рангу, чем специальный.

В излагаемой классификации условно использованы достаточно известные термины для обозначения **соответствующих категорий**. Это вызвано тем, чтобы показать, что как в выше-, так и в нижеизложенных классификационных построениях отличительной чертой предлагаемых групп признаков является их содержание, соподчиненность, специфичность основ их классификации, а не случайно подобранная терминология.

Далее рассмотрим признаки указанных выше классов, типов в рамках всей системы распознавания природного образования. Место их

здесь определяется соответственно по отражающимся в них свойствам объектов. Последние, в свою очередь, расположим по указанным ранее принципам "кирпичиков" ступеней, т.е. от низшей категории к высшей (см. табл. I). В результате эти признаки займут соответствующее место в этапных рядах процедуры распознавания ПО: общие – в дешифровочном, специальные – в интерпретационном. Их иерархическая соподчиненность отвечает соподчиненности указанных этапов.

В систематике процесса распознавания ПО значима не только ее распознавательная роль. В ней просматриваются и элементы предвидения. Они отражены во взаимосвязи свойств объектов, признаков и признаковых полей, для которых характерно то, что некоторые свойства определяются несколькими признаками, другим, не отвечает ни один признак, но они проявляются в других признаковых полях.

Достаточно беглого анализа этих неравноценных связей, чтобы определить "забронированные" места для новых категорий в системе распознавания ПО. Это предопределяет их поиск, что в определенной мере способствует выявлению новых информативных признаков, в чем и воплощается роль указанного "предвидения". Очевидно, что "забронированные" места указывают на недостаточность обобщаемого экспериментального материала, теоретических разработок на данном уровне развития рассматриваемого направления в познании нашей планеты. Они же как бы предопределяют неизбежность появления (как в таблице Менделеева соответствующих элементов) новых концепций, теорий, признаков, методов, то есть "скачка" в науке. Этот "скачок" в познании нашей планеты дистанционными методами внесла космосъемка, давшая в конечном счете теоретический и практический материал, позволяющий заполнить указанные забронированные места (табл. 2).

Подход с изложенных позиций к использованию космической информации позволил (минуя отмеченную ранее "методическую запущенность"): значительно расширить банк индикаторов природных образований; выполнить и реализовать теоретические, методические разработки определения по материалам космосъемок новейших и современных движений палеогидросети; выявить закономерности соответствующих структурообразований в земной коре (Юдин, 1981, 1982, 1986, 1988 а, б). Как продолжение единого цикла этих исследований ниже приводятся выкладки последующего этапа их развития.

Этапы	Свойства природных образований	Признаки распознавания природных образований	Исследуемые объекты	Признаковое поле		
				Оптическое поле снимка	Изменение оптического поля	Геофизические поля
I	2	3	4	5	6	7
Дешифрирование	Размеры	Размеры	Поверхностные природные образования	+		+
	Форма	Форма		+		+
	Пространственное положение	Пространственное положение		+		+
	Цвет	Цвет		+		
	Тон	Тон		+		
Дешифрирование и интерпретация	Физико-химические характеристики (ФХХ)	Спектрально-фотометрические. Структурно-геоморфологические. Закономерности связи: ФХХ - экзогенные процессы - фототон	Поверхностные и поверхностные ПО	+	+	
	Пространственная взаимословленность	Причинно-следственные связи		+	+	
	Генетические связи ландшафтных образований	Закономерности генетических связей ландшафтных образований		+	+	
Интерпретация	Генетические связи ПО	Закономерности геологической обусловленности индивидуальностей ландшафтных образований	Глубинные геологические образования, процессы	+	+	+
	Кинематические	Изменение фототона. Закономерности влияния кинематики геологических объектов на ландшафты. Корреляционные признаки: изменение тона и изменение геофизических полей			+	+
	Динамические	Закономерности изменения физических, геометрических и др. свойств в зависимости от напряженного состояния земной коры. Корреляционные признаки: изменение фототона и геофизических полей в зависимости от напряженного состояния земной коры			+	+
	Вариации свойств	Изменение фототона (производный признак). Закономерности, обуславливающие пространственно-временное изменение свойств природных образований			+	+

Примечание. Указатель поля (+), фиксирующего данное свойство ПО.

Спектральная, тематическая, геометрическая генерализация, разномасштабность, обзорность, возможность практически непрерывного наблюдения временной, пространственной динамики природных образований и явлений, представление дискретных картин этой динамики в различных зонах спектра – вот основные элементы, определяющие специфику космосъемки. Они представляют компоненты ландшафта, геологические объекты, их сочетания в аспектах, определяющих природоведческую "сверхинформативность" космоснимков. Поэтому, естественно, при использовании этих снимков в природоведении перед исследователем встает задача раскрытия их информационных возможностей и наиболее полного, оптимального использования этих возможностей при дешифрировании и интерпретации космоснимков. Опуская подробности изложения (в связи с ограничением объема настоящего сообщения), рассмотрим ряд информационных особенностей материалов космосъемок во взаимосвязи с некоторыми из названных элементов, определяющих их специфику.

### §1. Природоведческая информативность признаков полей

Однозначные, конкретные признаки отображения природных образований в оптической плотности космоснимка могут быть определены только для ограниченного круга геологических объектов, явлений. Это объясняется несколькими причинами. Во-первых, эти признаки, как правило, не постоянны во времени и пространстве в зависимости от особенностей, условий космосъемки. Во-вторых, многообразие задач, решаемых в природоведческих научных направлениях с использованием материалов космосъемки, порождает необходимость выявления по космоснимкам еще большего числа различных объектов, процессов, протекающих в различных горизонтах **земной коры**, и их сложных взаимоотношений. Найти в таком случае для каждого из них конкретный, демаскирующий их в оптическом поле снимка признак не реально. В третьих, материалы космосъемок среднего, мелкого масштабов отражают в основном объекты "интерпретационного уровня" (см. табл. 1, 2). В этом случае "логический образ" этих объектов построен на синтезе не только фактического материала, но и теоретических, гипотетических представлений и сложной взаимообусловленности объектов. Этот образ по мере развития научных знаний, а также появления фактического материала дополняется, корректируется, совершен-

ствуется. Трудно в таком случае представить конкретный однозначный признак, определяющий его.

На основании изложенного представляется более рациональным раскрыть индикационную значимость признаков полей. В таком случае их геологическую информативность будет определять исходный банк сведений, позволяющих для каждого конкретного случая найти наиболее оптимальный вариант способа распознаваний природных образований с набором уже конкретных признаков, демаскирующих их на аэрокосмоснимках.

Информативность любого поля измерений по отношению к каким-либо природным образованиям определяется информативностью характеристик, представляющих это поле, их таксонных единиц, доступных изучению, которые несут (в соответствующем коде) информацию о свойствах этих образований. В оптическом поле это тоновые, цветные, структурно-геометрические, пространственно-частотные характеристики. Именно они, отражая согласно своей физической сущности различные свойства (см. табл. I, 2) многочисленных объектов, явлений, определяют содержательную емкость фотоснимка. Их информативность по отношению к геологическим образованиям, особенно "скрытым", глубинным (интерпретационного класса), зависит от отношения латеральных размеров (рангов) этих образований и элементов ландшафта, отображающихся на космоснимках. Геологические объекты, соизмеримые по размерам (рангу) с соответствующими ландшафтными элементами в оптическом поле снимка, проявляются на относительно однородном фоне (так как при такой соизмеримости он создается одним, от силы двумя такими элементами). Читаемость их в таком случае равно обуславливают все указанные характеристики оптического поля снимка. По латерали объекта более высокого ранга (размера) на снимке такого же масштаба отображается множество подобных ландшафтных образований. Они создают сложный по цветовой, тоновой мозаике фон (помехи). Это, естественно, затрудняет распознавание на снимке объектов высокого ранга через их свойства, проявляющиеся в цветовых, тоновых характеристиках оптического поля снимка, то есть снижается информативность последних.

В то же время свойства этих объектов, определяющие их структурные особенности, отображаются в структурных, пространственно-частотных характеристиках оптического поля снимка, которые сохраняют идентичность форм проявления (геометрию, пространственное

положение, распределение, простираение и т.п.) в любых цветовых, тоновых оттенках снимка (не зависят от ландшафтной пестроты).

Классифицируя таким образом геологическую информативность оптического поля снимка по индикационной значимости его характеристик, можно сделать общее для фотоизображений земной поверхности заключение: информативность структурных и пространственно-частотных характеристик возрастает с увеличением ранга объекта, отображаемого на снимке. Если учесть, что этому рангу отвечает содержание мелкомасштабных космоснимков, для которых характерно "глубинное просвечивание", то из этого положения вытекает следствие: приоритетная информативность оптического поля мелкомасштабного снимка определяется структурными, пространственно-частотными характеристиками; в них, как правило, проявляются, минуя "поверхностный экран", глубинные объекты. В изложенном просматривается физическая сущность объективного, неизбежного перехода к структурным критериям, зачастую спонтанно вводимым многими исследователями (см. гл. I, §1).

Указанная классификация оптического поля снимка (форма представления его информативности) даже на таком уровне имеет конкретное действенное приложение в процедуре распознавания ПО. Дальнейшая детализация с соблюдением иерархии в классификационных построениях (см. гл. I, §2) значительно расширяет информативную емкость оптического поля снимка. В основе этой детализации лежит индикационная значимость всего многообразия размеров плотности, простираений, пространственного положения, контрастности, текстуры, структуры и других форм, представляющих отображение на аэро-космоснимке природных образований. К примеру, на космоснимке в геометрии, текстуре, структуре аномалий оптической плотности характерно отражается структурный план земной поверхности, фиксирующий деформации, возникающие при горизонтальных или вертикальных движениях. Характер этих деформаций и, соответственно, картина отображения на космоснимке зависят от глубины заложения разломов, блоков земной коры. При небольших глубинах возникает "шарьяжная" деформация достаточно хрупкой верхней части коры с большим числом мелких разрывных нарушений и складок. Как правило, в результате быстрых релаксаций напряжений эта деформация охватывает небольшие приразломные пространства. Наоборот, при больших глубинах движениями охвачена вся толща земной коры и они переда-

ются на значительное расстояние. Конкретно, для определения глубинного проникновения разломов, мощности блоков земной коры, охваченных движением, в данном случае используются выявленные по космоснимкам такие критерии, как частота, простирание, размеры линеаментов, сплошность их по простиранию, амплитуда изгибов складок. Размерно-частотная зависимость дислокаций определяется расстоянием до очага их генерации (глубинного разлома). При этом у вызываемых горизонтальными сжатиями многообразных форм складчатости, раздробленности просматривается синхронно-подчиненная этому сжатию композиция составляющих их элементов.

Значительно повышает индикационную значимость оптического поля снимка методика дешифрирования, включающая сравнительный анализ транзитных, надранговых образований в соотношении с тектонотипами вмещающих их природно-территориальных комплексов. Например, уже сама ситуация - пересечение разломом различных комплексов, тектонотипов, позволяет сделать заключение, что глубина заложения разрывного нарушения в данном случае больше (по крайней мере не меньше), чем проникновение в глубь земной коры каждого из этих комплексов. Ибо надранговость по отношению к ним подобного разрывного нарушения говорит о том, что только внешний по отношению к каждой из этих отдельностей эффект может породить сквозные, секущие их дислокации. Теоретически этот эффект может быть не земного генезиса, но условие необходимости субстрата, передающего энергию, генерирующую эти дислокации, позволяет сделать указанное заключение о его глубинности. Несложная интерпретация рассматриваемой и не менее информативно-емкой ситуации, создаваемой имеющими место транзитными палеостоками, позволяет с использованием указанных выше индикаторов выявить возрастные, кинематические характеристики различных природных образований, явлений, получить сведения о энергетическом очаге обуславливающем неотектонику (в том числе движения земной коры) данного региона (Юдин, 1988 б).

Анализируя изложенное, можно сделать заключение, что оптическая плотность космоснимка, как признаковое поле, несет в себе существенную геологическую информацию. Но даже поверхностное проявление разломов, изометрических структур, ландшафтных элементов, литологии пород, некоторые возрастные характеристики не всегда определяются этим полем однозначно. Тем более интерпретация фото-

и пространственно-частотных характеристик оптической плотности снимка в зависимости от указанных вариаций различных компонент окружающей среды. Информативность этого поля измерений определяется подобно оптическому полю, только здесь его характеристиками являются указанные изменения, каждое из которых, отражая согласно своей физической сущности определенную группу свойств, особенностей природных образований, явлений, обособляет соответствующий класс признаков распознавания геологических объектов.

В ряде случаев установить взаимосвязь изменений оптической плотности с вариациями влажности, температуры несложно. Довольно простого логического анализа нескольких снимков и данных метеослужб. Такое решение приемлемо при небольшом количестве воздействующих на плотность снимка элементов. При увеличении их необходимо составление и решение уравнений, число которых должно быть не менее числа этих элементов.

Так для каждого изменения оптической плотности можно записать равенство:

$$\Delta D_i = \alpha_1 \Delta \varepsilon_{i1} + \alpha_2 \Delta \alpha_{21} + \dots + \alpha_i \Delta \varepsilon_{i1}$$

$$\Delta D_j = \alpha_1 \Delta \varepsilon_{1j} + \alpha_2 \Delta \varepsilon_{2j} + \dots + \alpha_i \Delta \varepsilon_{ij},$$

где в левой части  $\Delta D$  — значения изменений оптической плотности снимка, а в правой  $\Delta \varepsilon$  — значения изменений соответствующих компонент атмосферы, гидросферы и т.п., и коэффициенты принадлежности  $\alpha$ , которые определяем из этих уравнений по степени воздействия соответствующих элементов на оптическую плотность снимка;  $i$  — количество элементов, влияющих на оптическую плотность;  $j$  — количество  $\Delta D$  (пар снимков).

Значения изменения оптической плотности определялись из повторных снимков одного диапазона и масштаба при постоянстве других параметров съемки. Данные о состоянии атмосферы в приповерхностном слое Земли, определяющие эти изменения, взяты из метеослужб (возможны "собственные" измерения).

Для разрешения неоднозначности при определении элемента или их группы, воздействующих на оптическую плотность снимка, необходимо использовать несколько повторных снимков. Их должно быть не меньше числа элементов, создающих эту разность. Возможности космоса и наземных наблюдений позволяют выдерживать эти условия.

При многозональной съемке количество полученных  $\Delta D$  увели-

чивается в число раз равное числу используемых диапазонов (табл. 3). Таким образом, используется и спектральная информативность

Таблица 3

Таблица значений  $\Delta D$

Масштаб	Канал	Время съемки определяемого $\Delta D$	$\Delta D$	Элементы обуславливающие изменение				
				$\Delta \varepsilon_1$	$\Delta \varepsilon_2$	$\Delta \varepsilon_3$	$\Delta \varepsilon_4$	$\Delta \varepsilon_j$
$M_{const}$	$K_{const}$	$T_{2,1}$	$\Delta D_{2-1}$	$\Delta \varepsilon_1$	$\Delta \varepsilon_2$	$\Delta \varepsilon_3$	$\Delta \varepsilon_4$	$\Delta \varepsilon_1$
		$T_{n+1,n}$	$\Delta D_{n+1,n}$	$\Delta \varepsilon_{1j}$	$\Delta \varepsilon_{2j}$	$\Delta \varepsilon_{3j}$	$\Delta \varepsilon_{4j}$	$\Delta \varepsilon_{1j}$
$M_t$	$K_{const}$	$T_{2,1}$	$\Delta D_{2-1}$	$\Delta \varepsilon_1$	$\Delta \varepsilon_2$	$\Delta \varepsilon_3$	$\Delta \varepsilon_4$	$\Delta \varepsilon_1$
		$T_{n+1,n}$	$\Delta D_{n+1,n}$	$\Delta \varepsilon_{1j}$	$\Delta \varepsilon_{2j}$	$\Delta \varepsilon_{3j}$	$\Delta \varepsilon_{4j}$	$\Delta \varepsilon_{1j}$
$M_{const}$	$K_m$	$T_{2,1}$	$\Delta D_{2-1}$	$\Delta \varepsilon_1$	$\Delta \varepsilon_2$	$\Delta \varepsilon_3$	$\Delta \varepsilon_4$	$\Delta \varepsilon_1$
		$T_{n+1,n}$	$\Delta D_{n+1,n}$	$\Delta \varepsilon_{1j}$	$\Delta \varepsilon_{2j}$	$\Delta \varepsilon_{3j}$	$\Delta \varepsilon_{4j}$	$\Delta \varepsilon_{1j}$

$$\Delta D_1 = \alpha_1 \Delta \varepsilon_{11} + \alpha_2 \Delta \varepsilon_{21} + \dots + \alpha_j \Delta \varepsilon_{j1}; \quad \Delta D_2 = \alpha_1 \Delta \varepsilon_{12} + \alpha_2 \Delta \varepsilon_{22} + \dots + \alpha_j \Delta \varepsilon_{j2}$$

$$\Delta D_j = \alpha_1 \Delta \varepsilon_{1j} + \alpha_2 \Delta \varepsilon_{2j} + \dots + \alpha_j \Delta \varepsilon_{jj}$$

снимков. Она помогает разрешить, в определенной мере, указанную неоднозначность в выявлении элементов первой части таблицы, обуславливающих изменения оптической плотности снимка. Аналогично можно увеличить число определений  $\Delta D$ , используя пары снимков нескольких масштабов.

Очевидно, что введение в практику распознавания ПО явлений поля признаков, представленного производными оптической плотности, значительно увеличивает число индикаторов демаскирующих эти образования. В конечном счете это повышает эффективность использования аэрокосмоснимков, достоверности, содержательной емкости результатов их дешифрирования, интерпретации.

Получаемые в процессе исследований наработки, банк знаний о влиянии на изменения оптической плотности снимка геологических неоднородностей, криосферных флуктуаций, различных техногенных загрязнений (по мере их накопления) позволяют расширить область приложения космической информации. На сегодняшний день система уравнений включает в себя уже  $\Delta D$ , обусловленные геологическими, криосферными, техногенными факторами. В результате решения этой системы (с использованием компьютера) получаем геологическую, криологическую, экологическую информацию.

Необходимо отметить, что без учета изложенных позиций сложно (зачастую невозможно) получить однозначный результат дешифрирования космоснимков. В этом нетрудно убедиться, исходя из сле-

дующих фактов: на космоснимках одного масштаба и диапазона, полученных в результате съемок при одной и той же высоте солнца, но в разные дни (иногда несколько дней), зачастую отображается (и уверенно дешифрируется) совершенно разный структурный рисунок. По всей вероятности с подобной ситуацией встречается каждый геолог при структурном дешифрировании средних и мелкомасштабных космоснимков. В литературе это явление некоторыми авторами названо "структурным мерцанием". Чтобы найти какое-то оптимальное решение (качественное или количественное) в таких случаях, необходимо обратиться к указанной системе условий (уравнений). Аргументами здесь выступают изменения в окружающей среде (известные из метеорологических или других данных) и самом объекте (известные как априори). Разное простирание и, соответственно, глубина заложения линейных структур обуславливают их проявление на земной поверхности в определенных ландшафтных образованиях. Последние, в свою очередь, дифференцированно реагируя на указанные изменения, несут информацию о глубинном строении земной коры. Но эту информацию не всегда можно получить - мало "эталонированного" и геологического обоснования соответствия тех или иных изменений конкретному геологическому образованию. Т.е. система уравнений не всегда имеет решения. Но, в любом случае, согласно изложенному, "структурное мерцание" необходимо учитывать при дешифрировании космоснимков как имеющее место.

### §3. Информационные возможности масштабного ряда аэрокосмоснимков

Наименьшая "неделимая" физико-географическая единица - фация. Она представляет собой ЦТК "... на всем протяжении которого сохраняется одинаковая литология поверхностных пород, одинаковый характер рельефа, одна почвенная разность и один биоценоз" (Мирошниченко, 1971, с.16). Согласно этому определению можно сделать заключение, что фация как индикатор при геологическом дешифрировании аэроснимков несет информацию о поверхностных образованиях (литологии, рельефе и др.).

Аналогична демаскирующая роль и отображаемой на аэроснимках географической единицы - "ландшафта". Но здесь уже информация другого уровня, "ландшафт - генетически однородный природно-территориальный комплекс, имеющий по всей территории одинаково выраженный геологический фундамент...". Его черты "обусло-

вливаются направленностью и особенностями тектонических движений..." (Миришниченко, 1971, с.9). Согласно изложенному "ландшафт", как генетически однородный (на соответствующем уровне) ПТК, и, соответственно, его яркостное поле (аэроландшафт) определяются геологическими особенностями (тектонические движения, однородность фундамента), которые прямо или косвенно включают глубинную информацию - гипсометрию поверхности фундамента, мощность, структурные неоднородности осадочного чехла (фундамент однороден) и другие геологические характеристики, отвечающие пространственно-временной дифференциации движений земной коры (НЦЗК). Таким образом, отображение на аэроснимке (аэроландшафт) географической единицы уровня "ландшафта" несет информацию уже о глубинном геологическом строении. При этом, и что особенно важно, величина "глубинного проникновения" здесь очевидна. Она соизмерима с разностью отметок поверхности фундамента, мощностью осадочного чехла, т.е. с теми значениями радиальной координаты, которые определяют границы указанных выше геологических особенностей, воздействующих на ландшафт (аэроландшафт).

Согласно латеральным размерам фаций, урочищ, ландшафтов рассчитаны масштабы аэроснимков, отображающих их (рис.1). При этом учитывалась зависимость обзорной площади от масштаба снимка и необходимость в площади снимка иметь отображение нескольких ПТК одного ранга (необходимость фона). Затем через изложенную выше геоиндикационную роль указанных географических единиц, находится информативная емкость аэроснимков соответствующих масштабов (отображающих эти единицы). Согласно теме настоящего раздела она касается в основном возможности этих снимков нести информацию о глубинном строении. Как видно из рис.1 фотоматериалы мелкомасштабной аэросъемки отображают элементы глубинного строения на уровне осадочного чехла.

Продолжение информационного ряда, отражающего геоиндикационную значимость масштабного ряда космоснимков, имеет свои отличительные стороны. Рассмотрим их.

Возможность аэро- и наземного изучения географических категорий уровня ландшафта, позволили природоведам, используя дедуктивные и индуктивные методы познания, дать четкие определения генетической обусловленности их индивидуальных особенностей, выделяющей их как ПТК соответствующего ранга. Отсюда и четкость в определении их геоиндикационной значимости.

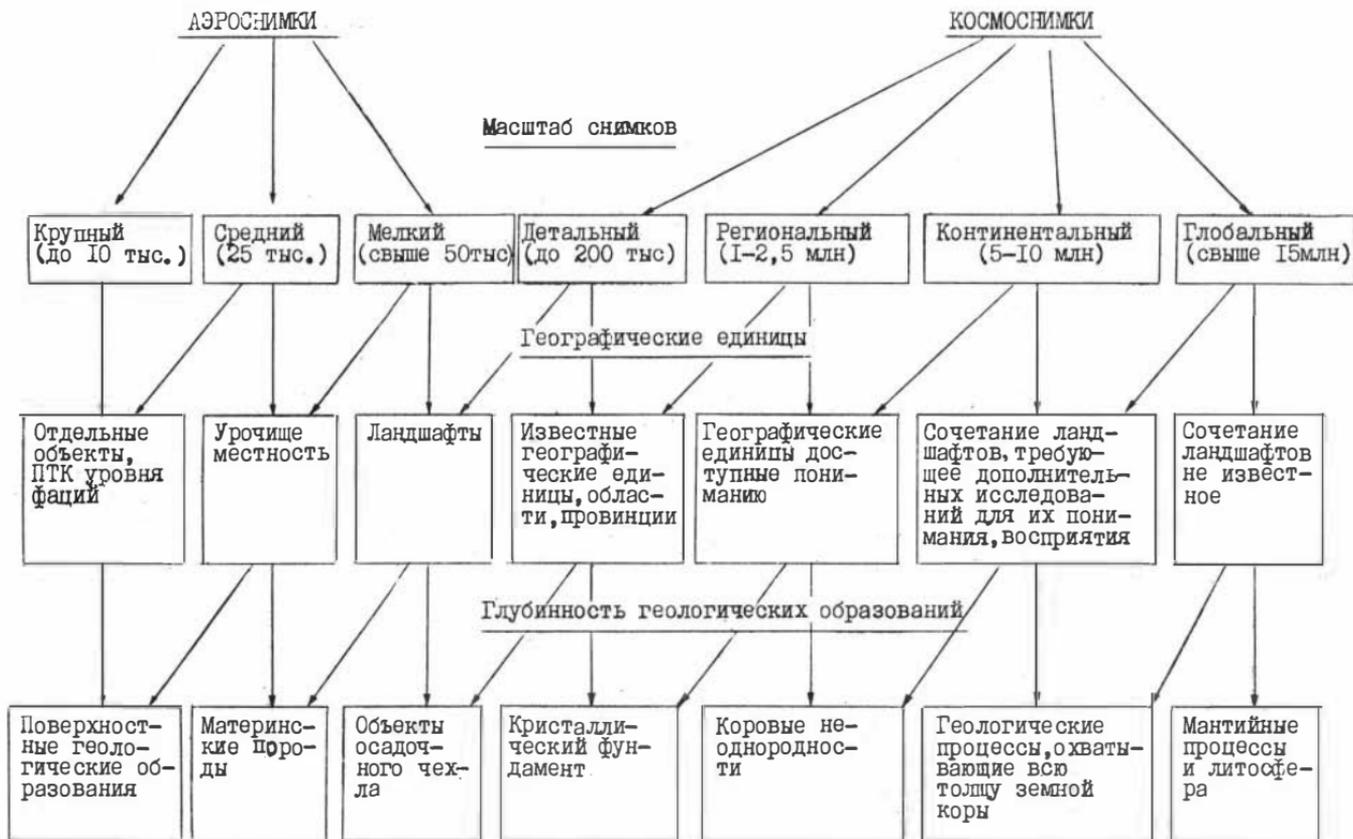


Рис. 1. Информационная система: фотоснимки — географические единицы — глубинные геологические образования

Географические единицы высших порядков в целом объективно-реальном представлении не были знакомы исследователям до появления фотоснимков масштаба космических измерений. Казалось бы, с приходом последних в практику землеведения все встанет, пусть не сразу, на свои места. Но все оказалось сложнее: мелкомасштабные космоснимки дают, как уже отмечалось, совершенно новую (не знакомую) информацию о нашей планете, которая не достаточно изучена и тем более использована, ибо еще довольно мало времени исследователь "живет" в масштабе орбитальных измерений (через космоснимки или непосредственное пребывание на орбите). Реалии географической оболочки в этой информации преобретают для исследователей неожиданные формы. Поэтому географические единицы высших порядков (провинция, страна и т. п.), не могут, подобно ПТК от фации до ландшафтов, быть индикаторами глубинных геологических образований. В основу исследований по продолжению указанного ранее информационного ряда положен принцип генетической обусловленности индивидуальности, присущей (характерной) только одному выделяемому этой обусловленностью рангу географических единиц. Этот принцип вырисовывается при анализе исследований по обособлению любой из географических единиц иерархического ряда (Мирошниченко, 1971; Богомолов, 1976 и др.). Он инвариантен относительно рамок определений географических единиц высшего ранга, содержащих отмеченные выше неточности.

Как уже отмечалось, образованиям соответствующих горизонтов земной коры, мантии отвечают соответствующие ранговые порядки форм организованности природы, которые, как правило, невозможно не только увидеть, но и сколько-нибудь полно изучить в масштабе наземных измерений. И здесь дело не только в недостаточной эффективности индукционного подхода к исследованиям. Генетическая (в рассматриваемом плане - геологического генезиса) обусловленность индивидуальных особенностей географических единиц высшего ранга не определяет, как правило, индивидуальных особенностей единиц низшего ранга. Естественно, нет и обратной связи. Это вытекает из самого принципа выделения географических единиц. В результате низшие единицы (к примеру фации) в крупномасштабном изображении на площади, ими занимаемой, затушевываются формами своей независимой, в указанном понимании, выраженности. И без того "рассеянные" крупномасштабностью представления инди-

видуальности единиц высших порядков (ландшафтов и др.). В таких случаях определить индивидуальные черты высших географических единиц (структур) через низшие объективно невозможно. (представляется, что этот вывод является частным приложением вытекающего из приводимого О.А.Вотаном (1985, с.17) положения о том, "... что структуры следующих рангов в каждом случае проявляют свойства, которые не были присущи ни одному из структурных элементов предыдущего ранга...").

Изложенное определило направленность исследований по раскрытию информативности масштабного ряда материалов аэрокосмосъемок. Во-первых, в области "космических" масштабов этого ряда это - изучение ПТК уровня "космоландшафтов". Полученными здесь результатами рано еще "заполнять соответствующие места" в любой информационной системе. Необходимы дальнейшие исследования и обобщения полученной информации. В настоящем изложении в этом плане можно отметить, что особенности в географической оболочке Земли, обусловленные коровыми, мантийными проявлениями на земной поверхности, создают: синхронная миграция на десятки и сотни километров многочисленных палеорусел; обусловливаемые ими на всем протяжении ритмичность и единство форм в различных компонентах ландшафта; соотношения современной и палеогидросети с элементами разломно-блокового строения; новейшие и современные движениями земной коры, вызывающие изменения в географической оболочке, и другие образования, явления, находящие отражение на поверхности Земли и соответственно на космоснимках. Банк таких признаков с большим экономическим эффектом реализован в практических работах по выявлению глубинного строения земной коры. Во-вторых, подход с изложенных позиций к выявлению глубинных образований, явлений неизбежно должен включать в себя более глубокие исследования по пониманию, раскрытию механизма их проявления на земной поверхности. И главное, необходимо исходить при этом из энергетической обусловленности всего многообразия природных образований, явлений. Для этого приводятся следующие выкладки.

Глубинные образования, явления проявляются на земной поверхности через генерируемые ими различные энергетические воздействия - механические деформации, эманация, географические поля, биохимические превращения и др., которые реализуются в энер-

гетической обусловленности соответствующих индивидуальностей географических единиц (их особенностях). Очевидно, что в различных формах, носителях энергия этих воздействий присутствует в обусловленных ею особенностях рельефа, отложениях, геофизических, плотностных неоднородностях и других индивидуальностях материального мира, в том числе почвенно-растительного покрова, атмосферы и, естественно, несет информацию о глубинных природных образованиях. При этом подобная "запись" этой информации на поверхности Земли имеет место, по крайней мере, со времени образования на ней кристаллического покрытия. Таким образом, энергетические воздействия, прямо или косвенно генерируемые глубинными геологическими образованиями, являются индикаторообразующими факторами. В таком случае, в оптимальном варианте, они и должны лежать в основе поиска индикаторов глубинных образований, явлений.

При уменьшении масштаба измерений (космосъемках) поверхность Земли, атмосферный слой (область пространства) представляются **сжатыми**, т.е. площадь "рассеяния" энергии уменьшается, увеличивается ее плотность (сближаются носители этой энергии - соответствующие индивидуальности географической, атмосферной оболочки маркирующие пространство). При соответствующем масштабе (рис.2) это "уплотнение" достигает величины, достаточной для фиксирования его (значит и глубинного геологического образования) современными техническими средствами (космосъемкой) или непосредственными наблюдениями (с летательных космических аппаратов). В результате верхняя кромка глубинного разлома в кристаллическом фундаменте, как бы зеркально отображается на космоснимке. В схематическом представлении изложенному можно дать следующее истолкование. Соответствующий масштаб измерений "сжимает" менее плотную среду осадочного чехла с рассеянной в ней "энергией разлома" (до плотности кристаллического фундамента), и в результате разрывное нарушение обнаруживает себя в этом масштабе измерения порой так же четко, как он фиксируется в кристаллическом фундаменте (разлому, благодаря масштабному сжатию, "возвращена" его среда, и он как бы "всплыл" на поверхность).

Разломы осадочного чехла (см.рис.2б), которые могут аккумулялировать и "транзитную" энергию (аманагии, сейсмопроявления и др.), в том числе от разлома фундамента, отобразятся наиболее

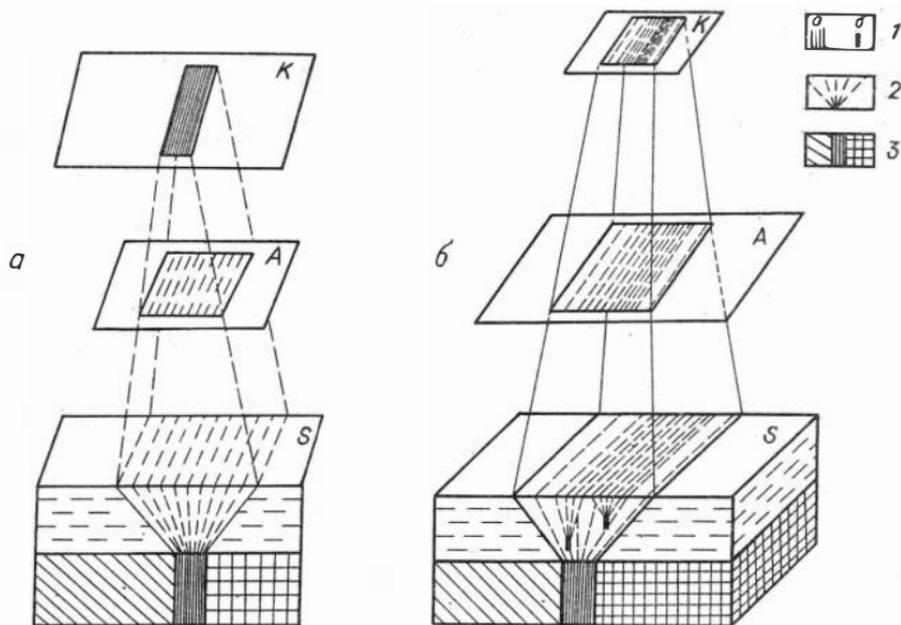


Рис.2. Принципиальная схема проявлений разломов на аэрокосмоснимках: а - глубинных; б - глубинных и дизъюнктивов (неоднородностей) осадочного чехла: S - на поверхности Земли, А - на аэроснимке; К - на космоснимке. 1 - разломы: а - фундамента, б - осадочного чехла; 2 - условные линии энергетического поля разломов в осадочном чехле; 3 - блоки земной коры, разделенные разломом.

четко в крупном масштабе. На космоснимке мелкого масштаба (из-за большой апертуры считывания) они теряют четкость отображения. Таким образом, имея комплекс разномасштабных аэрокосмоснимков, можно определить глубину фиксируемых ими геологических образований. Естественно, что присутствие нескольких неоднородностей в чехле дадут сложную для дешифрирования картину. Но мы имеем снимки разного масштаба, диапазона, времени съемки и, соответственно, используя производное признаковое поле, можем составить систему уравнений (Юдин, 1986, 1988), число которых даже может превышать число неизвестных (неоднородностей чехла). При необходимости здесь используются исходные геолого-геофизические и

метеорологические данные. Необходимо так же отметить, что к указанным неоднородностям относятся и нефтегазоносные залежи, подземные водные бассейны и др. Поэтому изложенное, наряду с опубликованными ранее результатами исследований (по определению движений земной коры, палеогеоидности, разломной тектоники и др.), широко используется в поисковой геологии.

Таким образом, любая неоднородность чехла, земной коры — нефтяная залежь, рудные образования, разломы — могут быть выявлены через географические индивидуальности, обуславливаемые ими. Оптимальное решение этой задачи зависит от опыта, знаний теоретических выкладок, технологических возможностей (**надо различить "индивидуальность"**, знать каким глубинным образованиям она отвечает и т.д.). Поэтому решению поисковых задач предшествовали исследования на "эталонных полигонах" — территориях с известным геологическим строением, где были **апробированы** указанные ранее признаки проявления на земной поверхности глубинных образований.

Необходимо отметить, что глубинная координата соответствующих природных образований определялась тремя независимыми методами. Основу первых двух составляют, соответственно, — "информативная система" (см.рис.1) и изложенные выше выкладки об масштабной избирательности снимков в отношении отображения ими глубинных энергетических проявлений **на земной поверхности**. Суть третьего, дающего количественные значения глубины заложения разломов и других образований, а также определенную информацию о реологических характеристиках, состоит в следующем.

Глубинную координату соответствующих образований по космоснимку можно найти достаточно просто — использовать экспериментальные данные, к примеру Паталахи Е.Н. (1981), Шермана С.И. и др. (1983), **о размерах** на поверхности Земли области динамического влияния разломов в зависимости от глубины их заложения. Но при всем совершенстве подлежащих, в данном случае, выполнению работ со снимками (фиксирование области динамического влияния) результаты могут содержать существенные неточности, из-за "упрощений", неизбежных в экспериментальном геотектоническом моделировании, дискуссионности выполняемых при этом расчетов. Поэтому при определении глубинной координаты использован иной подход.

При экспериментальном геотектоническом моделировании обязательно соблюдение условия подобия. Его сущностью является равен-

ство коэффициентов подобия ( $K_H = K_M$ ). В упрощенном представлении  $K_H = \frac{H}{H_3}$ ;  $K_M = \frac{M}{M_3}$ , где  $h, m$  — соответственно, толщина деформированного разломом слоя и размеры области динамического влияния на модели;  $h_3, m_3$  — тоже, в земной коре. Из этого условия, а также следствий, положений, приводимых в работах по экспериментальному тектоническому моделированию (Гзовский, 1975; Паталаха, 1981; Шерман и др., 1983), вытекает, что каждому геологическому объекту соответствующих размеров, деформированному по всей толщине разломом (или каждой глубине заложения разлома), отвечают определенные размеры модели, пропорционально отражающей в своем масштабе область влияния этого разлома. Далее необходимо исходить из того, что орбитальные масштабы (космоснимки) позволяют нам наблюдать эксперимент, выполняемый на самом объекте — Земле (ее частях), где экспериментатор, выполняющий "нагрузку", геодинамические процессы. В результате путем несложных расчетов с учетом ранее изложенного о информативности масштабного ряда снимков находится глубинная координата геологического образования. При этом интервал точности определений зависит от ширины масштабного диапазона, отвечающего оптимальному проявлению конкретного природного образования на снимке.

§ I. Геологическое приложение результатов дешифрирования  
космоснимков

Изложенные в настоящей работе теоретические основы использования информативных возможностей космоснимков, наряду с выполненными ранее методическими разработками, позволили получить познавательную, полную информацию о палеогидросети, разломах и других глубинных неоднородностях земной коры (Юдин, 1981, 1983, 1986).

В свою очередь, эта информация позволила раскрыть новейшие движения земной коры (НДЗК) с недоступной обычным (геологическим) методам дифференциацией и детализацией их в пространстве и времени, а также по интенсивности проявлений, глубине охватываемых этими движениями горизонтов. Каждому тектоническому режиму присущ свой рисунок речных долин. Интенсивность опусканий, поднятий или отсутствие движений определяют степень их миграции, глубину, ширину, извилистость, соответственно, обуславливаемые ими ландшафтные образования и, в конечном счете, характер отражения на снимке. Поэтому в выполняемых исследованиях по определению движения земной коры по космоснимкам большое внимание уделено выявлению элементов палеогидросети. Положение отдешифрированных палеостоков дает информацию о ровном палеорельефе в их створе (в противном случае сток вод невозможен). Возраст палеорусел определяет время существования этого палеорельефа. Отсюда следует, что превышение в современном рельефе по створу палеорусла определяет амплитуду относительных новейших поднятий земной коры, расположенных по этому створу, за время, равное возрасту палеорусла. Зная амплитуду (с учетом поправки на денудацию) и время движений, находим скорости новейших движений. Абсолютные значения новейших движений земной коры определены по недеформированным поверхностям выравнивания, вмещающим палеостоки (в том числе при их выходе в смежные области), и современной гидросети, как части в единой системе водных стоков в новейшее время.

Таким образом, густая сеть палеорусел представляется покрывающими всю площадь "нивелирными" ходами (рис.3), определяющими

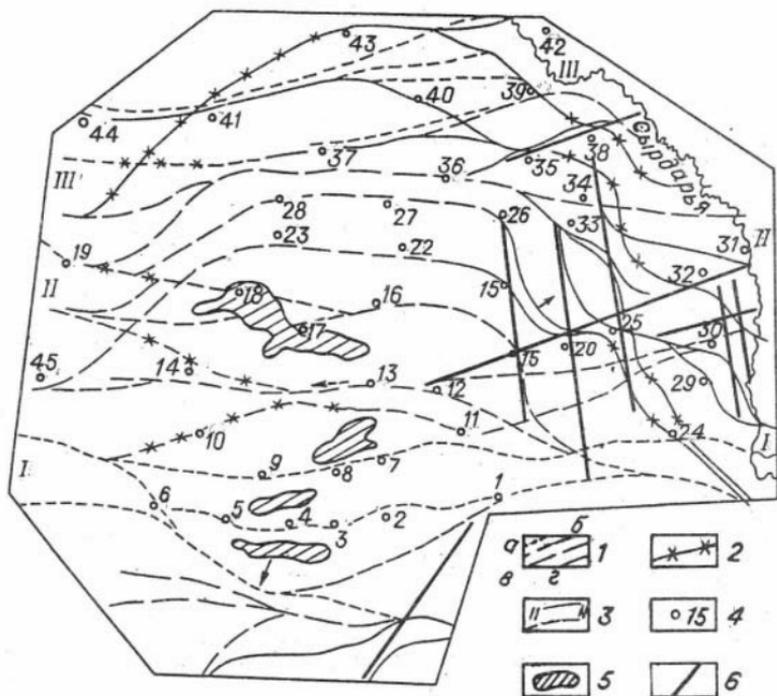


Рис.3. Палеогидросеть как информация о новейших движениях Земной коры:

I - основные палеорусла: а - домиоценовые, б - миоценовые, в - верхнеплиоценовые, г - четвертичные;  
 2 - "реперные" палеорусла; 3 - основные палеодолины неогеновой гидросети; 4 - места определений гипсометрии соответствующих горизонтов земной коры; 5 - Центрально-Кызылкумские поднятия; 6 - разломы, контролирующие палеостоки.

ми скорости новейших движений земной коры (рис.4). Подобные исследования в Западной Сибири не завершены, поэтому в качестве примера показаны результаты определения новейших движений земной коры, полученные согласно изложенной методике для территории Кызылкумского региона.

Не менее результативным является использование космической информации в определении современных движений земной коры (СДЗК)

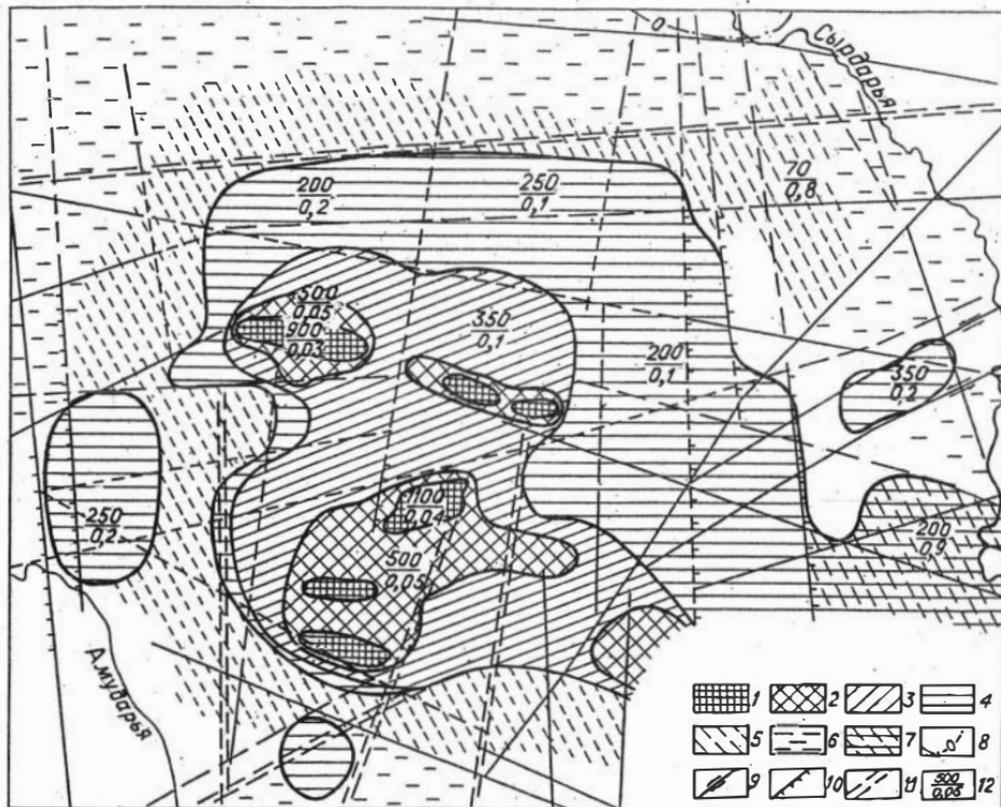


Рис. 4. Неотектоническая схема Кызылкумского региона. Области с началом проявления новейших движений: I - олигоценным; 2 - миоценовым; 3 - первой половине верхнего плиоцена; 4 - второй половине верхнего плиоцена, 5 - плейстоценовым, 6 - голоценовым, 7 - плейстоценовым с последующей заметной активизацией движений в голоцене; 8 - граница палеогеновой не деформированной поверхности выравнивания. Кинематический тип разломов: 9 - сдвиговый; 10 - сбросовый, пунктир указывает на менее заметное их проявление на поверхности Земли; II - разломные зоны; I2 - среднее значение амплитуды (м) поднятий, скорости новейших движений (мм/год), вычисленных для каждого фиксируемого этапа неотектонического развития региона.

метное их проявление на поверхности Земли; II - разломные зоны; I2 - среднее значение амплитуды (м) поднятий, скорости новейших движений (мм/год), вычисленных для каждого фиксируемого этапа неотектонического развития региона.

(Юдин, 1986, 1988). Здесь направление исследований определялось зависимостью фотогеничности земной поверхности от современных движений земной коры, связью их с разломно-блоковым строением. Зависимость фотогеничности земной поверхности от СДЗК обусловлена тем, что эти движения, деформируя земную поверхность, вызывают соответствующие изменения в режиме ее влагообмена, влагосодержания, химическом составе, характере взаимодействия с атмосферными явлениями. Эти процессы определяют в соответствующей мере влажность, минерализацию почв, состав почвенно-растительного покрова, режим его развития, которые, в свою очередь, влияют непосредственно на коэффициент отражения ( $Z_{\lambda}$ ) электромагнитных волн земной поверхности и на фототон снимка. Для повышения достоверности результатов использовались разномасштабные, многозональные снимки, полученные в разное время съемки, то есть реализуется информативная возможность "производного" поля признаков (см. гл. 2, § 2).

Результаты дешифрирования интерпретации материалов космосъемок, полученные согласно изложенным выше методическим разработкам, информационным возможностям космоснимков позволили вскрыть ряд особенностей структурообразования в земной коре. Выявленные ранее в пределах Туранской плиты (Юдин, 1981), они установлены при дальнейших исследованиях в Западной Сибири. Это пространственно-временная миграция вертикальных движений земной коры, мощность, размеры, монолитность, конфигурация охватываемых ими областей и др. Эти особенности указывают на наличие в земной коре и мантии очагов, энергетически обуславливающих наблюдаемые вертикальные движения земной коры. Эти движения, в геологическом масштабе времени, радиально по латерали распространяются от очага на смежные территории и "обновляя", определяют их геоморфологию, разломно-блоковую тектонику. При этом разломы (их фрагменты) оконтуривают по касательным генерирующие их проявление очаги. Амплитуда поднятий по ним убывает с удалением их от центра указанной генерации. В этой же последовательности изменяется их возраст (время проявления). Скорости неотектонических движений ( $v_H$ ) на периферии поднятия соизмеримы со скоростями современных движений ( $v_C$ ). В центральной части, наоборот, они отличаются на порядок и более. Это говорит о незавершенности и единственности соответствующего этапа неотектонических движений,

в первом случае, и о многоэтапности их - во втором.

Выделенные особенности структурообразования в указанных регионах обусловлены не только глубинным энергетическим очагом. Их определяет присутствие образовавшихся еще до начала движения субмеридиональных, субширотных разломов, глобального, регионально-го ранга с соответствующим шагом по латерали (Геологическое дешифрирование..., 1981 и др.) и отвечающая им блочность. Согласно ранее изложенному, эти разломы, их глубинность, кинематика уверенно выявляются по космоснимкам. В такой ситуации на начальном этапе вертикальных движений в активное воздымание вовлекаются блоки, расположенные над очагом этих движений (рис.5). При достижении динамического равновесия в центральной части поднятий, движениями охватываются периферийные территории (активизируются удаленные разломы). Не трудно видеть, что с вовлечением в поднятие новых территорий уменьшается давление, генерируемое глубинным очагом, на единицу площади. В таком случае, в центральной части нарушается динамическое равновесие (уменьшается сила обуславливающая воздымания) и возникают относительные или абсолютные нисходящие движения.

Выявляемые особенности структурообразования с учетом вязкости земной коры, мантии и других реологических характеристик позволили получить модельное представление о неотектоническом развитии региона как едином целостном процессе, протекающем в земной коре и на ее поверхности (см.рис.5).

1. Земная кора разбита на блоки субмеридиональными, с "шагом" около 40 км, и субширотными разломами предшествующих тектонических этапов. Это положение обосновывается не только отдешифрированными автором разломами по космоснимкам, но и данными других исследователей (Геологическое дешифрирование..., 1981; Глубинное строение..., 1987 и др.).

2. Вязкость блоков земной коры -  $10^{23-24}$  п., мантийной части литосферы -  $10^{22}$  п., аномально низкая в зонах разломов -  $10^{18-19}$  п. (Кучай, 1983).

3. Толщина земной коры - 35-40 км, мощность литосферы - 100 км.

4. Поднятие разогретого, разуплотненного мантийного вещества (Белоусов, 1978; Артюшков, 1979) способствует активному воздыманию "свободных" блоков земной коры (ограниченных разломами

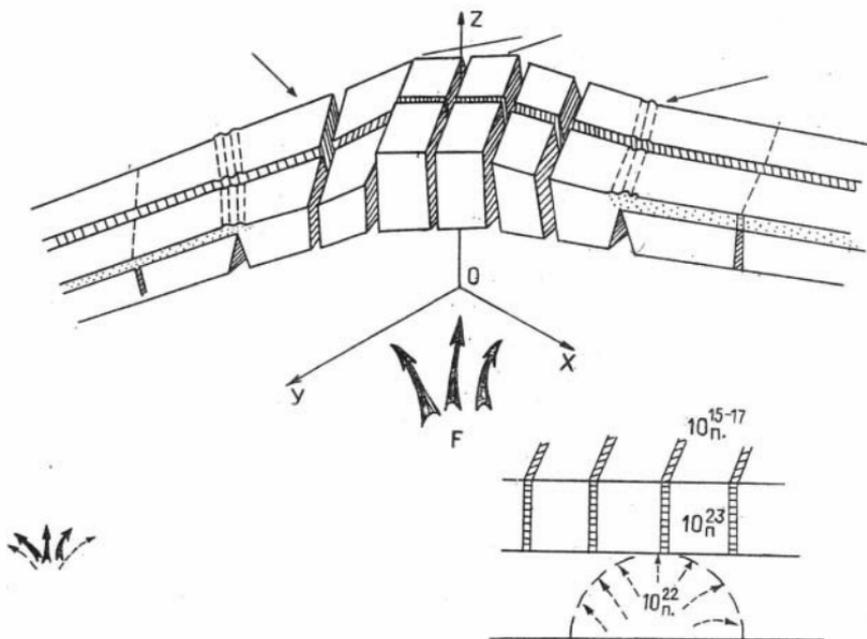


Рис.5. Модель генерации новейшего структурообразования в Кызылкумском регионе.

зонами с низкой вязкостью) непосредственно над очагом аномальной мантии. При этом релаксация напряжений "задерживает" воздействие этого очага на смежные блоки земной коры.

5. Естественно, что указанное ранее динамическое (изостатическое) равновесие будет, в той или иной мере, иметь место и в периферийных зонах, что вызовет дальнейшее латеральное распространение воздействия мантийного очага воздымания (возможно его растекание). В результате в поднятие вовлекаются более удаленные области. В каждом новом таком цикле "охвата" территорий движениями есть свои особенности, в том числе и возникающие из-за "априорной" неоднородности Земной коры, горизонтальных напряжений. Но в любом случае в рассматриваемой модели, согласно вышеизложенному, при каждом возобновлении относительно свободного поднятия более удаленных периферийных блоков будут происходить нисходящие движения в центральной части.

Изложенный механизм генерации многоэтапности соответствующих неотектонических движений объясняет выявляемый по геологическим данным многими исследователями (Ситдииков, 1976; Грамм, 1962; Шульд, 1972 и др.) подобный поплачковый характер вертикальных движений земной коры. Собственно, это утверждает и приемлемость самого механизма.

Из изложенных толкований вытекает, что вскрываемая цельность (системность) неотектонических процессов от очага, обуславливающего вертикальные движения земной коры, до формируемых этими движениями ландшафтных образований позволяет установить ряд закономерностей, определяющих новейшую геодинамику соответствующих регионов и ее индикаторы. Эта цельность процесса и присущие ей закономерности с учетом физики, механики сплошной среды, геологических постулатов, логического анализа дают возможность не только качественно оценить пространственно-временное развитие неотектонических процессов и их следствий, но и рассчитать: 1) характеристики новейших и современных движений земной коры — амплитуду, скорость, градиент, границы охваченной поднятием территории, пространственно-временную зависимость соотношений скоростей новейших, современных движений и палеорельефа; 2) пространственное положение разломов, их кинематику, глубинность и относительное время проявления (в том числе их фрагментов); 3) мощность, блочность, гипсометрию отдельных областей в ретроспективе и пространстве; 4) прогноз дислокации (простирание, частота, ранг и др. характеристики), неоднородностей (плотности, вязкости и др.) осадочного чехла — как следствие процессов изложенных в пунктах 1, 2, 3 и известных геолого-географических факторов; 5) формы, степень воздействия перечисленных в пунктах 1-4 факторов на географические элементы земной поверхности, атмосферу.

В изложенной информационной системе о геотектонических процессах, структурообразовании все элементы находятся как частное закономерно присущее общему (дедуктивный метод познания). При ее реализации в геологической практике она включает в себя и "частные" определения, полученные непосредственно из геолого-геофизических, геодезических и других данных. Эти определения, как "реперы", позволяют корректировать, более качественно интерполировать дедуктивно полученную информацию. Необходимость коррекции вызвана тем, что невозможно учесть все аспекты неоднородности зе-

мной коры при выполняемых выше расчетах соответствующих характеристик.

Здесь просматривается очень важная информационная позиция. Информацию объективно присущую общему, целостному природному образованию, явлению (в настоящем изложении геодинамическому процессу) мы, согласно положениям предыдущих разделов, получаем непосредственно из материалов космосъемок соответствующего масштаба, т.е. мы получаем "реперные" данные, отвечающие познавательному уровню дедуктивных определений. В идеале информация, полученная из обобщения "частных" и "общих" определений, должна совпадать. Каждое несоответствие, в данном случае, указывает на ошибочность априорно принятых реологических характеристик неоднородностей земной коры. Это несоответствие "материально". Оно оценивается качественно, количественно и позволяет получить систему условий, уравнений, где неизвестными являются только указанные неоднородности и характеристики. Чтобы система имела оптимальное решение, необходим соответствующий банк знаний, т.е. более глубокие исследования в этом направлении.

Изложенные методические разработки, полученная по космоснимкам информация находят широкое приложение в природоведческой практике.

Основополагающими в сейсморайонировании явились: 1) единство, цельность региона в понимании характера энергетической обусловленности, пространственно-временной взаимосвязи протекающих в нем геодинамических процессов; 2) данные о современных, новейших движениях земной коры, разломной тектоники и другие элементы структурообразования; 3) информация об очагах тектонических напряжений смежных зон; 4) геологические неоднородности земной коры, обуславливаемые предшествующими этапами тектонического развития. Перечисленная информация позволила использовать для оценки сейсмоактивности территорий следующие критерии: приуроченность **землетрясений** к соответствующим региональным разломам; влияние характера движений по ним на "накопление" напряжений; блочность; простирание, размеры, плотность дислокаций. Кроме того, информация о глубинном строении, энергетическом очаге, механизме структурообразования вносит некоторую нестандартность в решение рассматриваемого вопроса. Во-первых, эти данные позволяют перейти к более "вещественным" определениям касательных напряжений.

Во-вторых, информация о дифференциации вертикальных движений земной коры в прошлом позволяет "монолитную" область (отсутствует градиент скорости современных движений) отнести в настоящем к сейсмоопасным зонам. В-третьих, сведения о глубинных структурах раскрывают различия в реакции сейсмогенных провинций на удаленные землетрясения.

В основе использования космической информации в поиске рудных месторождений лежит известная их приуроченность к разломам земной коры. Пересечение двух, трех, четырех и более разломов является местом полициклического поступления глубинных растворов, газов. Полициклическость в данном случае обеспечивается поэтапным образованием указанных разломов и проявлением при этом эндогенной активности. В результате происходит многоэтапная минерализация, способствующая концентрации рудных образований. Зачастую молодые разломы (возможно, более позднего проявления) оконтуривают зону пересечения более ранних. Образуется несколько таких зон. В данном случае более перспективными в рудоносном отношении считались те, которые расположены по контурным участкам этих зон. Такой вывод основывается на том, что контрастность температур вмещающих пород и внедряющихся растворов, повышенная проницаемость в этом участке земной коры на фоне законтурной монолитной создают более благоприятные рудоконцентрирующие условия. Этим, по всей вероятности, и объясняется отмечаемая некоторыми исследователями рудоносность контурных разломов (Геологическое дешифрирование ..., 1981). Плотность, динамика разрывных нарушений, а также энергетические очаги, вызвавшие образование (проявление) последних, также уточняют положение рудоносных зон. Все это наряду с вышеизложенным определяет общую перспективность разломов земной коры, зон их пересечения на поиск полезных ископаемых, особенно гидротермального генезиса.

Исследования по "эталонированию" и апробированию результатов дешифрирования космоснимков на предмет их рудоносной информативности были выполнены в Кызылкумском регионе. В результате установлено, что все известные рудные месторождения **Центральных Кызылкумов** приурочены к зонам пересечений разломов земной коры. При этом соответствующим рудным образованиям отвечает соответствующий ранг, кинематика, возраст, простираение, полициклическость и морфоструктуры проявлений разломов, характер их пересечений.

При перекрытии разломных зон осадочным чехлом существенную информацию несут изометрические фотоаномалии — их цвет, колорит, структура, текстура, характер соотношения с отображением линейных дислокаций. Выраженность перечисленных признаков зависит от мощности осадочного чехла, интенсивности и времени движения земной коры.

Предварительные результаты подобных исследований в районах Урала и Восточной Сибири говорят об универсальности перечисленных выше индикаторов рудных образований.

Информацию о россыпных месторождениях несут данные о палеогидросети, палеорельефе, движениях Земной коры (полиэтапность). Например, в новейшей тектонике было несколько периодов с благоприятными условиями формирования россыпных месторождений т.е. длительной и интенсивной континентальной денудации. Чтобы выявить в данном случае продуктивные отложения, необходимо найти палеостоки периода размыва рудоносных пород (палеозойские, в ряде случаев). Решение этой поисковой задачи заключается в несложном анализе получаемой, согласно ранее изложенному, информации о палеогидросети и новейших движениях земной коры.

Геологическим, геотермическим, палеогеографическим фактором, обуславливающим присутствие нефтегазовых месторождений, характерно наличие единого основополагающего по отношению к ним звена. Это геотектонические процессы и отвечающие им элементы структурообразования фундамента, осадочного чехла. Информативность космоснимков этого плана, в том числе о целостности, системности неотектонических процессов и, соответственно, закономерностях структурообразования позволяет получить познавательную информацию о структурных позициях нефтегазоносных залежей. Это: система разломов соответствующих простираний, глубин заложения, возраста, кинематического типа; современная и палеогипсометрия различных горизонтов земной коры; глубинные "энергетические" очаги обуславливающие, выявляемое по космоснимкам, дифференцированное во времени и пространстве движение блоков земной коры; элементы палеогидросети. Из анализа подобной информации не трудно выявить структурные особенности осадочного чехла, прогнозировать: области с аномальным тепловым потоком, развитие коллекторских толщ, возможные пути миграции нефти и газа. Последнее актуально в связи с появлением весомых аргументов в пользу

зу быстрого и недавнего образования многих месторождений (Аширов, 1990) за счет миграции нефти по разломам.

В каждом конкретном случае, исходя из результатов геологического дешифрирования космоснимков, могут быть использованы довольно простые схемы прогноза нефтегазоносных залежей. Например, по снимкам Среднеобского Зауралья (верховье р.Конда) выявлены мантийно-коровые разломы, "гаснущие" в осадочном чехле, и дизъюнктивы верхней части чехла (рис.6).

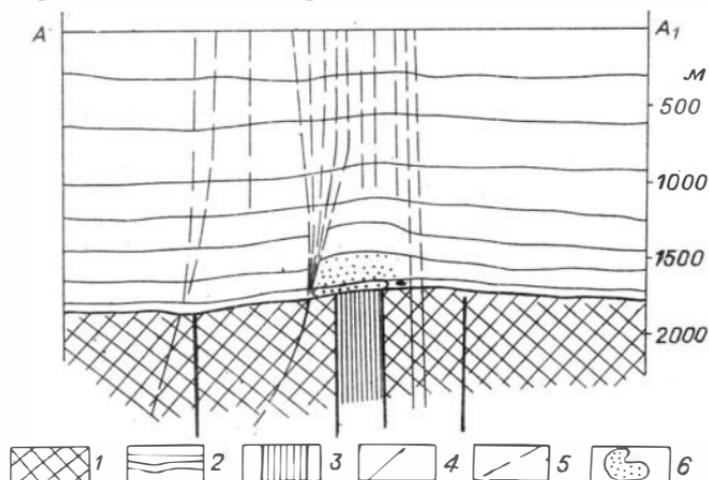


Рис.6. Разломы Земной коры, контролирующие нефтяное месторождение:

1 - фундамент; 2 - осадочный чехол; 3 - глубинная разломная зона, проявляющаяся как таковая в кровле фундамента; 4 - разломы фундамента; 5 - дизъюнктивы осадочного чехла; 6 - нефтяная залежь.

**Интерпретация:** 1. Возможное поступление тепла из верхней мантии (?). 2. Миграция углеводородов из нижележащих горизонтов в осадочный чехол. 3. Факт "угасания" глубинных разломов свидетельствует о "закупорке" разломов и целостности покровов. 4. Разломы такого ранга, как правило, определяют рельеф фундамента, а следовательно, палеогеографические особенности и литологию низов осадочного чехла, т.е. зона разлома может быть коллектором.

**Вывод:** Ситуация благоприятна для формирования залежей нефти и

газа над верхней кромкой глубинной разломной зоны, под монолитной толщей осадочного чехла (данные бурения подтверждают этот прогноз).

Многообразии тектонических процессов, структурных особенностей, формирующих нефтегазоносные месторождения, предполагают достаточную сложность алгоритма поиска нефтегазоносных месторождений. Но несомненно одно – основой этого алгоритма могут служить данные дистанционного зондирования Земли, отвечающие этому многообразию своей информативной емкостью. Исходя из этого, в основу разработок по созданию более совершенных алгоритмов поиска месторождений нефти и газа положены исследования по "нефтегазоносному эталонированию" (использование информации о известных месторождениях) всего многообразия геологической информации, получаемой, согласно вышеизложенному, по материалам космических съемок Земли. В результате подобных исследований выявлены закономерности в структурных позициях, характерных для ряда нефтеносных и газовых месторождений (Талинское, Самотлорское, Березовское, Уватское и др.). Для внедрения этих закономерностей в производственный "конвейер" поиска необходимы более широкие и глубокие исследования по указанному эталонированию результатов дешифрирования космоснимков.

## §2. Криологическое приложение космоснимков

Решению различных проблем геокриологического районирования посвящено достаточное количество работ, в т.ч. составлено множество схем районирования разного масштаба (Баулин и др., 1967; Проблемы геокриологии, 1988; Трифонов и др., 1988; Геокриология СССР, 1989 и др.).

Какая методологическая сторона изучения криолитозоны, авторы рассматривают приоритетность, приемлемость тех и других принципов, подходов, признаков районирования. Методическая часть посвящена в основном типизации, картографическому представлению геокриологических особенностей исследуемых территорий, совершенствованию способов получения данных о криолитозоне Земли.

В то же время в известных отечественных публикациях, отчетах не просматривается широкомасштабность использования столь информативных дистанционных методов землеведения при геокриологическом районировании.

Строение, эволюция криолитозоны определяется рядом факторов, которые можно подразделить на две группы, обуславливающие периодичность теплообмена в десятки тысяч лет и короткопериодичные его флуктуации (Баулин и др., 1967).

Приоритет геокриологического районирования, в основе которого лежат факторы, определяющие строение, эволюцию криолитозоны, некоторыми авторами отвергается (Трофимов и др., 1987) другими (Баулин и др., 1967) – признается. В.В.Баулин (1982) констатирует: "Приступая к районированию, необходимо решить, по каким признакам мы собираемся выделять таксономические единицы: или по характеристикам (или по их градиентам) самой мерзлой толщи, или по тем природным факторам, которые формируют данную характеристику? Мне кажется, что второй путь более правильный, поскольку он позволяет полнее показать влияние элементов комплекса природных условий на формирование мерзлотных толщ и вносить коррективы в мерзлотные карты. Кроме того, такой подход к районированию дает возможность предвидеть результаты техногенных воздействий на мерзлые породы".

Не вдаваясь в подробности подобных дискуссий, можно отметить, что факторное районирование с присущими ему признаками дает большую информацию о строении криолитозоны, энергетической обусловленности ее становления.

Известно, что гиясометрия глубинных горизонтов земной коры, морские трансгрессии и регрессии, геоморфология местности, определяют глубину подошвы залегания, мощность, характер распространения мерзлотных толщ. Несомненна зависимость параметров криолитозоны и от разломной тектоники, как одного из факторов появления аномалий в тепловом поле Земли. Многолика роль в этом процессе и новейших движений земной коры. В мерзлотоведческой практике оценки этой роли обычно сводятся к определенному воздействию указанных движений на состав отложений, геоморфологию, почвенно-растительный покров и к другим, в основном косвенным, криосферообразующим факторам. В то же время не затрагиваются аспекты изменений при этом физико-геологических условий, непосредственно воздействующих как на сингенетически, так и эпигенетически промерзшие породы.

Далее, мы знаем о существенном влиянии на криогенез современной гидросети. В таком случае палеогидросеть, позволяющая уз-

нать о подобном влиянии в прошлом (при этом в разное время), должна быть еще более информативна в изучении строения и эволюции криосферы Земли.

Таким образом, в дополнении к известным, вырисовывается ряд мерзлотообразующих факторов, знание которых позволит констатировать соответствующие особенности строения криолитозоны и прогнозировать ее становление в будущем. Это разломная тектоника с кинематикой и ранговостью разрывных нарушений; палеогидросеть; новейшие и современные движения земной коры с вышеуказанным аспектом их воздействия на формирование мерзлотных толщ.

Очевидно, что перечисленные криолитообразующие факторы, согласно изложенному в настоящей и других работах (Юдин, 1981, 1983, 1986, 1988), составляют предмет наиболее эффективного приложения космической информации, т.е. новизна, многообразие информации, вносимой космосъемкой в разломно-блоковое строение и движения земной коры, палеогеографическую обстановку, находят соответственно оптимальное приложение и в криологии. Рассмотрим это на одном из примеров.

В равнинной местности миграция палеорусел на огромном пространстве происходит аналогично блужданию современных русел в дельтовой части реки. При миграции из-за поднятий земной поверхности в такой изначально ровной местности происходит постепенное непрерывное (в соответствующем измерении времени) смещение русла в одном направлении. При этом не может быть значительного "врезания" русла. В результате образуются "площадные" (шириной до 100 км) долины (обнаружить которые при наземных масштабах измерения трудно).

Другой случай, если местность рельефная, то долины рек отличаются выраженностью, глубиной выполняющих их русел, небольшой шириной (до единиц километров). Таким образом, в первом случае вода как носитель энергии воздействует на значительно большую площадь и, естественно, мощность этого воздействия на единицу площади намного меньше, чем во втором случае. Естественно, чтобы увидеть на снимке индикаторы (компоненты рельефа, ландшафта и т.д.) такого палеовоздействия, нужен эффект генерализации мелко-масштабного снимка. Во втором случае, наоборот, выраженные на местности, неширокие палеодолины составляют малую часть поверхности, охватываемой пятном сканирования при мелко-масштабной

съемке. В результате аномальные яркости, создаваемые ими, рассеивают на большую площадь, что затрудняет их дешифрирование. Крупномасштабные снимки здесь более информативны. Необходимо отметить, что здесь нечеткость или расплывчатость на снимке соответствующего масштаба являются дешифровочным признаком, характерным для фотоотображения палеосток в зависимости от масштаба — т.е. значение  $\Delta D$  (Юдин, 1986, 1988а). С учетом известных на сегодняшний день характерных воздействий современной гидросети на мерзлотные толщи нетрудно "перевести" информативность материалов космосъемок непосредственно на изучение строения и эволюции криосферы.

Многообразие (при полноте) информативной емкости полученных сведений о криосферообразующих факторах с учетом известной и вышеизложенной их роли в становлении криолитозоны позволили выполнить геокриологическое районирование некоторых территорий Западной Сибири, со значительно меньшей трудоемкостью и большей объективностью.

Сочетание различных масштабов измерений диапазонов, даваемых космосъемкой, позволило выявить особенности строения и эволюции криолитозоны на п-ове Ямал с дифференциацией по времени образования этих особенностей. В результате выполненных определений, в западной и северной части полуострова прогнозировалось наличие аномально уменьшенной мощности мерзлотных толщ, с наличием таликов (не характерных для этих широт). Имеющиеся экспериментальные данные (Геокриология СССР, 1989 и др.) подтверждают этот прогноз. Аналогично нашли подтверждение и геокриологические определения в Приенисейской, Приобской зонах (рис. 7). Выявленные здесь разломы, палеорусла, характер новейших движений земной коры позволили констатировать двухслойное строение криолитозоны с аномальным протаиванием в средних горизонтах (влияние палеосток), перекрытых промерзшими породами (после миграции палеосток) мощностью в десятки метров.

Представляет интерес выделение "аномальной" зоны в строении криосферы по фиксируемой материалами космосъемки взаимосвязи атмосферных стоков с геологическими, геофизическими неоднородностями земной коры и верхней мантии. Этой зоне отвечает уменьшение мощности мерзлотных толщ, наличие таликов вдоль ее простира-ния. Имеющиеся экспериментальные данные подтверждают указанные

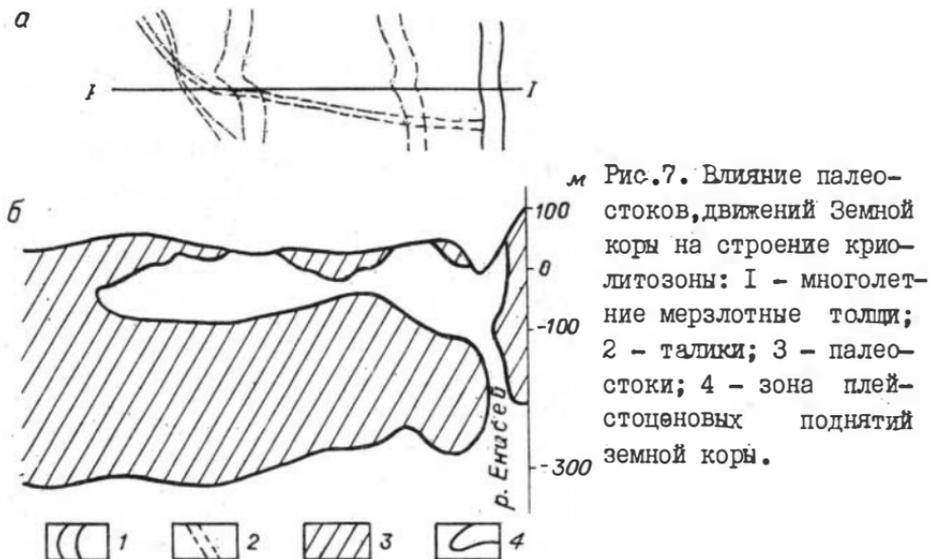


Рис.7. Влияние палеосток, движений земной коры на строение криолитозоны: 1 - многолетние мерзлотные толщи; 2 - талики; 3 - палеостоки; 4 - зона плейстоценовых поднятий земной коры.

особенности в строении мерзлотных толщ, но здесь, дешифрируются и палеорусл. Поэтому относить уменьшение мощности мерзлотных толщ только на счет указанной взаимосвязи на такой стадии изученности вопроса, преждевременно.

Раскрытие в дальнейшем закономерностей энергетической обусловленности указанным комплексом атмосферных и геологических факторов строения и эволюции криолитозоны даст новые возможности в решении проблем геокриологического районирования.

Изложенное геокриологическое приложение космоснимков информативно и при выявлении мерзлотных толщ непосредственно по их характеристикам и влиянию на ландшафты. Особо здесь стоит выделить информативность производного поля признаков (Юдин, 1986, 1988а), фиксирующего яркостные изменения в мерзлотных породах в зависимости от времени съемки, сезона, спектрального диапазона, вариации в окружающей среде.

В заключение необходимо отметить, что существующие для Западной Сибири геологические и криологические концепции, теории построены индуктивными методами. В результате переход от фактических, но дискретных экспериментальных данных к общим построениям с неизбежным при этом присутствием элементов интерполяции,

интуитивных факторов вносит порой существенные неточности в указанные теории, концепции. Эти неточности стали особенно заметными с появлением материалов космосъемок, давших цельные, объективно обобщенные (генерализацией), реально существующие природные образования, явления разных уровней организованности. Изложенное позволяет сделать **вывод о необходимости переосмысливания** имеющегося фактического экспериментального геокриологического материала в канве информации, даваемой космосъемкой о криосфереобразующих факторах.

### §3. Экологическое приложение космоснимков

Для предотвращения отрицательных влияний антропогенных воздействий, предупреждения их возникновения, локализации, для определения оптимальных техногенных нагрузок на ландшафты с учетом специфики их структурно-функционального строения необходимо решать общие задачи распознавания всех возможных состояний природной среды, закономерностей, определяющих это состояние, и причин, обуславливающих ее динамику.

При решении этой задачи нужны знания естественного хода развития природной среды, реакции ее на климатические флуктуации, присутствие в ней уровня фоновых загрязнений. Таким образом, экологический мониторинг представляет собой системное исследование природной среды, включающее в себя различные ее компоненты, в том числе геолого-геофизические факторы, создающие определенную специфику функционирования экосистемы. При этом в одних случаях необходима оперативная оценка соответствующих изменений в окружающей среде, в других – продолжительные наблюдения с обязательным присутствием ретроспективы. Размерный спектр исследуемых территорий довольно широк – от детальных площадок до глобального уровня. На этих территориях зачастую требуется вести синхронные наблюдения за соответствующими параметрами природной среды.

Очевидно, что перечисленные работы по экологическому мониторингу немислимо выполнить стандартными методами наземных наблюдений. Здесь необходим дистанционный мониторинг природной среды с информативными возможностями разномасштабных, многозональных аэросъемок разного времени, практически неограниченной частотой опроса.

Изучение техногенных воздействий на природную среду дистанционными методами в настоящее время включает в себя – выявление

источников загрязнения; изменений в окружающей среде, вызываемых этими загрязнениями; непосредственное фиксирование элементов загрязнения, включая их фоновый уровень.

Перечисленные разработки по раскрытию и реализации природо-ведческой информативности космоснимков позволили поднять на более высокий уровень (эффективность, достоверность, автоматизацию и др.) и, более того, расширить круг решаемых с помощью аэрокосмического мониторинга экологических проблем.

Полнота, многообразие выявляемой материалами космосъемок геолого-географической информации позволили однозначно решить задачу по определению пространственно-временной миграции практически любых загрязнений на поверхности Земли, в грунтовых водах, атмосфере и гидросфере. Эта миграция и, соответственно, концентрация загрязнений достаточно легко определяются из анализа дешифрованных разломов, движений Земной коры, густой разновозрастной палеогидросети. Особо значима в рассматриваемом аспекте выявленная по космоснимкам взаимосвязь атмосферных процессов с геологическим строением, которое контролирует, генерирует атмосферные стоки (см. рис.7). Трудно переоценить значение данной информации о распространении концентрации загрязнений при решении вопроса размещения производительных сил в Сибири.

Как уже отмечалось, многообразие материалов космосъемок (масштабное, диапазонное) практически с любой частотой опроса позволило ввести в процедуру дешифрования космоснимков производное поле признаков. В результате решения системы уравнений:

$$\Delta D_{ij} = \alpha_{1j} \Xi_1 + \alpha_{2j} \Xi_2 + \dots + \alpha_{ij} \Xi_i,$$

где  $i$  - количество элементов ( $\Xi$ ) воздействующих на окружающую среду;  $j$  - количество  $\Delta D$  (изменений оптической плотности снимка) равное числу пар аэрокосмоснимков, выявляются не только очаги, границы области распространения техногенных воздействий, но и физико-химический состав загрязнений, вид их воздействия (обводнения, пожар, угнетение растений и др.).

Подчиненность атмосферных процессов глобальным, региональным неоднородностям земной коры (выявленным по космоснимкам) наблюдается в зоне п-ова Ямал, о-ва Новая Земля и других районов Западной Сибири. В районе о-ва Новая Земля четко фиксируется влияние глубинного разлома даже на торцевую часть продольной облачной структуры. Обнаруживается также влияние региональных ано-

малый влажности (водные реликты) теплового поля Земли, которые вместе с указанными глубинными неоднородностями создают "коридоры" атмосферных стоков, заметно фиксируемых на материалах космосъемок.

Подход к дешифрированию согласно схеме указанных уравнений позволил установить спектральный диапазон и масштаб, которые фиксируют наиболее заметное воздействие тяжелых металлов (Cu, Pb, Zn, Mo и др.) на растительный покров в фазы вегетации, когда растительность наиболее чувствительна к этому воздействию.

✖

✖                  ✖

Необходимо отметить, что дальнейшие исследования (с изложенных позиций) по изучению природных образований, явлений орбитального ранга ("космоландшафтов"), "эталонирование" глубинных энергетических проявлений в различных горизонтах Земли, атмосфере позволят получить с использованием космоснимков более познавательно-емкую, объективную информацию (в сравнении с геофизическими методами) о глубинных образованиях земной коры, ее реологических характеристиках.

Системность, объективная реальность, иерархичность и соответствующая надранговость этой информации дают основу для переосмысливания, анализа в каждом из рассмотренных выше природоведческих направлений всего фактического материала и выполненных по ним теоретических построений (с неизбежными при индуктивном методе познания информативными потерями и неточностями). Результаты исследований дают основания для определенных реконструкций в гео-, эко- и криологических информационных системах. Собственно целью раскрытия информативных возможностей материалов космосъемок в настоящем изложении и явилось - определение канвы, направленности природоведческих исследований в свете информативных возможностей космоснимков.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Абросимов И.К., Богородский С.М., Востокова Е.А. Ландшафтные взаимосвязи и их использование при дешифрировании материалов аэро- и космических съемок для изучения глубинного строения западной части Туранской плиты // Исследование природной среды космическими средствами: Геология и геоморфология. - М.: ВНИИТИ, 1974. - Т.2 - С.59-71.

Альтер С.П. Ландшафтный метод дешифрирования аэрофотоснимков. - М.; Л.: Наука, 1966. - 88 с.

Артюшков Е.В. Геодинамика. - М.: Наука, 1979. - 327 с.

Афанасьев Н.Ф. Статический анализ аэрофотоизображений // Исследования оптических свойств природных объектов и их аэрофотоизображений. - М.: Наука, 1970. - С.114-123.

Афанасьев Н.Ф. и др. Математические методы в геологическом дешифрировании аэрофотоснимков. - М.: Недра, 1981. - 280 с.

Афанасьев Н.Ф., Можаяев Б.Н. Опыт геоиндикационного моделирования с использованием материалов аэро- и космических съемок // Изв. вузов. Геология и разведка. - 1981. - № 3. - С.46-50.

Аширов А.Б. О геологическом времени формирования месторождений Урало-Поволжья // Геология нефти и газа. - 1990. - № 9. - С.16-20.

Баулин В.В. и др. Геокриологические условия Западно-Сибирской низменности. - М.: Наука, 1967. - 214 с.

Баулин В.В. Принципы районирования области распространения вечномерзлотных пород // Инж. геология. - 1982. - № 5. - С.8-15.

Белоусов В.В. Эндегенные режимы метериков. - М.: Недра, 1978. - 232 с.

Богомолов Л.А. Понятие "аэроландшафт" и оптико-географическое исследование земной поверхности // Аэрометоды исследования местности. - М., 1966. - С.5-18.

Богомолов Л.А. Дешифрирование аэроснимков. - М.: Недра, 1976. - 144 с.

Борисов О.М. и др. Структура земной коры Средней Азии по космическим данным. - Ташкент: ФАН, 1985. - 176 с.

Борисов О.М., Глух А.К. Кольцевые структуры и линеаменты Средней Азии (по материалам дешифрирования мелкомасштабных космоснимков) - Ташкент: ФАН, 1982, - 122 с.

Бржханов В.Н. О классификации дешифровочных признаков геологических объектов на аэрофотоснимках// Аэрометоды исследования местности. - М.: Недра, 1966. - С.45-53.

Васильев Ю.М. Применение аэрометодов при геологических съемках в Урало-Эмбенской нефтеносной области// Вопросы региональной геологии и методики геологических исследований. - М., 1957. - С.113-173.

Викторов С.В. Растительность как индикатор при геологических исследованиях в Средней Азии// Проблемы физ. географии. - 1949. - Т. XIV. - С.126-133.

Виноградов Б.В. Примеры связи растительности и почв с новейшей тектоникой// Ботан. журн. - 1955. - № 6. - С.837-844.

Виноградов Б.В. К теории растительных индикаторов// Бюл. МОИП. Отд. биол. 1957. - Т. XII, № 4. - С.79-86.

Виноградов Б.В. Космические методы изучения природной среды. - М.: Мысль, 1976. - 286 с.

Волчанская И.К. Использование метода морфоструктурного анализа при дешифрировании космоснимков// Анализ космических снимков при тектономагматических и металлогенических исследованиях. - М., 1979. - С.31-60.

Вотах О.А. Структурные элементы Земли. - Новосибирск: Наука, 1979. - 142 с.

Вотах О.А. Введение в гестектонику. - Новосибирск: Наука, 1985. - 179 с.

Высоцкий Б.П. Аэрометод при геологических исследованиях. - М.: Госгеолтехиздат, 1962. - 84 с.

Гавеман А.В. Аэросъемка и исследование природных ресурсов. - М.: Изд-во АН СССР, 1937. - 286 с.

Галкин Е.А. Применение материалов аэрофотосъемки для гидрогеологического изучения болот. - Л.: Гидрометеиздат, 1949. - С.5-25.

Геоботанические методы при геологических исследованиях. Вып. I. - М.: Госгеолтехиздат, 1955. - 152 с.

Геологическое дешифрирование космических снимков восточной части Средиземноморского пояса. - М.: Недра, 1981. - 205 с.

Геологическое изучение Земли из космоса. - М.: Наука, 1978. - 226 с.

- Геокриология СССР. - М.: Недра, 1989. - 454 с.
- Гзовский М.В. Основы тектонофизики. - М.: Наука, 1971. - 536 с.
- Глубинное строение слабосейсмических регионов СССР. - М.: Наука, 1987. - 237 с.
- Гонин Г.В. Аэрометоды как база развития современных дистанционных методов изучения Земли // Дистанционные методы геолого-геофизического изучения Земли. - Л., 1982. - С.3-17.
- Грамм М.Н. Стратиграфия кайнозойских масс Ферганы и сопоставление их с третичными континентальными отложениями некоторых соседних областей: Автореф. дисс... д-ра геол.-мин. наук.-М., 1962. - 30 с.
- Долливо-Добровольский А.В., Стрельников С.И. Особенности дешифрирования геологических объектов по космическим снимкам// Применение новых видов аэросъемки при геологических исследованиях. - Л., 1976. - С.5-10.
- Кастров В.Г. К вопросу о дневном ходе альbedo земной поверхности // Тр.Центральной аэрологич. обсерватории.-Л., Гидрометеиздат. 1955. - Вып. 14. - С.12-23.
- Кац Я.Г., Рябухин А.Г., Трофимов Д.М. Космические методы в геологии. - М.: Изд-во МГУ, 1976. - 246 с.
- Кельль Н.Г. Аэросъемка в геолографии // Материалы I Всесоюз.географ. съезда. - М., 1933. - Вып. I. - С.52-53.
- Козлов К.И. Спектрофотометрия растений разных климатических зон в отраженных лучах. - Алма-Ата, 1955. - 207 с.
- Кооп М.Л., Румянцева Э.Р. О классификации дешифровочных признаков разрывных нарушений// Исследования Земли из космоса.-1982. - № 3.-С.24-33.
- Космическая информация в геологии. - М.: Наука, 1983.-534с.
- Космическая фотосъемка и геологические исследования/ Ред. Гонин Г.В., Стрельников С.И. - Л.: Недра, 1975. - 416 с.
- Космология СССР. - М.: Недра, 1987. - 240 с.
- Кринов Е.Л. Спектральная отражательная способность природных образований. - М.; Л.: Изд-во АН СССР, 1947. - 272 с.
- Кучай В.К. Современная динамика Земли и орогенез Памиро-Тянь-Шаня. - М.: Наука, 1983. - 208 с.

Лунгерсгаузен Г.Ф. Некоторые итоги аэрогеологических исследований в Западной Сибири// Сов.геология. - 1955. - № 45. - С. 52-77.

Матвеев А.Ф. Опыт ландшафтного дешифрирования аэрофотоматериалов на территории Нижнего Прииртышья// Геологическое строение Западной Сибири по материалам аэрокосмических исследований - Тюмень, 1982. - С.110-122.

Миросниченко В.П. Аэросъемка. - М.;Л: Госгеолтехиздат, 1946. - 303 с.

Миросниченко В.В. Опыт разработки и применения аэрометодов для изучения новейших и современных тектонических движений в пределах предгорных равнин аккумулятивно-эолового типа// Тр. лаборатории аэрометодов АН СССР. - Т.Ш. - 1954. - С.32-88.

Миросниченко В.П. Применение аэрометодов в геологии// Тр. лаборатории аэрометодов АН СССР. - 1959. - Т.УШ. - С.14-38.

Миросниченко В.П. Ландшафтный подход при изучении новейшей тектоники// Применение аэрометодов в ландшафтных исследованиях. - Л.;М.: Изд-во АН СССР, 1961. - С.230-248.

Миросниченко В.П. Современное состояние теории и практики ландшафтного дешифрирования аэроснимков// Теория и практика дешифрирования аэроснимков. - Л.; М.: Наука, 1966. - С.73-94.

Миросниченко В.П. и др. Ландшафтный метод дешифрирования проявлений новейшей и современной тектоники для поисков погребенных нефтегазоносных структур. - Л.: Наука, 1971. - 115 с.

Михайлов А.Е., Тихомиров В.Г. О методике использования аэрофотосъемочных материалов геологической схемы в Центральном Казахстане// Сов.геология. - 1955. - № 42. - С.45-64.

Можаяв Б.Н., Жученко А.Г. Геоиндикационный метод дешифрирования аэро- и космических снимков - состояние и перспективы// Сов.геология. - 1984. - № 8. - С.60-65.

Орлов В.И. Анализ динамики природных условий и ресурсов. - М.: Наука, 1975. - 275 с.

Паталаха Е.И. Генетические основы морфологической тектоники. - Алма-Ата: Наука, 1981. - 179 с.

Петров М.П. Значение аэросъемки в изучении растительного покрова пустынь СССР// Сов.ботаника. - 1936. - № 5. - С.16-31.

Петрусевич М.Н., Казик Л.И. Цветная аэрофотосъемка при геологическом картировании// Сов.геология. - 1955. - № 42. С.156-163

Петрусеви́ч М.Н. Геологосъемочные и поисковые работы на основе аэрометодов. — М.: Госгеолтехиздат, 1954. — 109 с.

Петрусеви́ч М.Н. Аэрометоды при геологических исследованиях — М.: Госгеолтехиздат, 1962. — 407 с.

Проблемы геоэкологии. — М.: Наука, 1988. — 195 с.

Пятковская Н.П. Спектральная изменчивость наземных контрастов в видимой и близкой инфракрасной области спектра// Тр. Главной геофизической обсерватории им. А.И. Воейкова. — Вып. 100. — 1960. — С.65–73.

Руководство по лесному дешифрированию аэроснимков. — Л., 1939. — 202 с.

Самойлович Г.Г. Применение авиации и аэрофотосъемки в лесном хозяйстве. — М.; Л.: Гослесбумиздат, 1953. — 476 с.

Севостьянов В.И. и др. Значение космических методов в геологических исследованиях// Изв. вузов. Геология и разведка. 1973. — № 7. — С.3–7.

Сергеев Г.А., Янтуш Д.А. Статистические методы исследования природных объектов. — Л.: Гидрометеиздат, 1973. — 300 с.

Ситди́ков Б.Б. Новейшая тектоника Центральных Кызылкумов. — Ташкент: ФАН, — 1976. — 78 с.

Скаря́тин В.Д. Об изучении разрывной тектоники по комплексу разномасштабных космоснимков Земли (метод многоступенчатой генерализации)// Изв. вузов. Геология и разведка. — 1973. — № 7. — С. 34–50.

Скаря́тин В.Д. Применение метода многоступенчатой генерализации при изучении геологических структур разного масштаба (на примере Северного Кавказа)// Исследования природной среды космическими средствами; Геология и геоморфология. — М., 1976. — Т. 5. — С.123–141.

Соловьева Л.И., Богородский С.М., Бурлакова Г.С. и др. Методика индикационного дешифрирования разномасштабных аэрокосмических снимков и топографических карт как основа структурно-геоморфологического анализа закрытых районов (на примере Устьурта) // Исследование природной среды космическими средствами: Геология и геоморфология. — М., 1976. — Т.5. — С.161–167.

Соловьева Л.И., Бурлакова Г.С., Посошкова Н.С. Материалы космической съемки, используемые при изучении нефтегазонасности Западно-Сибирской провинции// Использование космической информации в нефтяной геологии. — М., 1981. — С.33–35.

Тольчеников Ю.С., Хазанова Т.М. Критерии оптической классификации ландшафтов. // Исследования природной среды космическими средствами. Геология и геоморфология. - М., 1973. - Т. I. - С. 120-123.

Толчельников Ю.С. Оптические свойства ландшафтов. - Л.: Наука, 1974. - 252 с.

Трофимов В.Т. и др. Геокриологическое районирование Западно-Сибирской плиты. - М.: Наука, 1987. - 219 с.

Трифонов В.Г. и др. Аэрокосмическое изучение сейсмоопасных зон. - М.: Наука, 1988.

Флоренский П.В., Петренко А.С. Древние платформы // Геологическое изучение Земли из космоса. - М.: Наука, 1978. - С. 128-145.

Шаронов В.В. Современное состояние оптики природного ландшафта // Тр. Всесоюз. науч. метеорологического совещания. Т. VI. - М.: Гидрометиздат, 1963.

Шерман С.И., Борняков С.А., Буддо В.Ю. Области динамического влияния разломов. - Новосибирск: Наука, 1983. - II 2 с.

Шульц С.С. Геологическое строение зон сочленения Урала и Тянь-Шаня. - М.: Недра, 1972. - 207 с.

Юдин В.С. Комплексная обработка и интерпретация космоснимков // Исследования Земли из космоса. - 1981. - № 4. - С. 70-75.

Юдин В.С. Результаты геологической интерпретации космоснимков. Автоматизация. Дешифровочные признаки // Тр. ЗапСибНИГМИ. - Вып. 166. - Тюмень, 1982. - С. 99-109.

Юдин В.С. Определение признаков проявления геологических образований на космоснимке, в геофизических полях и их использование при анализе структурных особенностей исследуемой территории // Космические методы изучения природной среды Сибири и Дальнего Востока. - Новосибирск, 1983. - С. 49-52.

Юдин В.С. Роль динамики природных образований при дешифрировании космоснимков // Дистанционные исследования природных ресурсов Сибири. - Новосибирск, 1986. - С. 99-103.

Юдин В.С. Определение признаков проявления геологических образований в геофизических полях и на космоснимках // Аэрокосмические исследования природных ресурсов. - Новосибирск, 1988а. - С. 46-52.

Юдин В.С. Изучение новейшей динамики на примере Кызылкумского региона по данным космоснимков // Там же. - С. 64-70.

Юдин В.С. Современная и новейшая геодинамика Кызылкумского региона в свете данных космоснимков// Аэрокосмическое изучение современных и новейших тектонических процессов. - М., 1986. -- С.115-120.

Утверждено к печати  
Институтом геологии СО РАН

Редактор Р.Н.Ильина

Технический редактор О.М.Вараксина

---

Подписано к печати 22.05.92.  
Бумага 60x84/16. Печ.л. 4,0. Уч.-изд.л.3,7.  
Тираж 200. Заказ 175.

---

Объединенный институт геологии, геофизики  
и минералогии СО РАН  
Новосибирск, 90. Ротапринт.