

УДК 551.4 : 528.77

А. А. АСЕЕВ, С. М. АЛЕКСАНДРОВ, М. Е. ГОРОДЕЦКАЯ

СОВРЕМЕННЫЕ ЗАДАЧИ ГЕОМОРФОЛОГИЧЕСКОГО ДЕШИФРИРОВАНИЯ КОСМИЧЕСКИХ ИЗОБРАЖЕНИЙ ЗЕМЛИ

Освещаются основные задачи, которые можно решать при изучении рельефа с помощью разномасштабных космических изображений. Изучение морфоархитектуры относительно стабильных литосферных плит и мобильных шовных (переходных) зон относится к задачам глобального ранга и реализуется при дешифрировании наиболее мелкомасштабных телевизионных снимков системы «Метеор». Изучение крупных морфоструктур и зональных морфоскульптурных комплексов относится к задачам регионального ранга и осуществляется при дешифрировании среднемасштабных телевизионных и фотографических снимков систем «Союз», «Салют». Изучение отдельных морфоструктур и более мелких ареалов морфоскульптурных комплексов, быстро протекающих геоморфологических процессов на ключевых участках относится к локальным задачам и производится при помощи крупномасштабных космических изображений высокого разрешения, особенно многозональных и многоспектральных снимков.

Изучение рельефа Земли с помощью материалов космической съемки — одно из наиболее перспективных направлений современной геоморфологии. Анализ рельефа по данным дешифрирования космических изображений позволяет получить разнообразную геоморфологическую информацию — от изучения тектонически обусловленных крупнейших (геотектур) и крупных (морфоструктур) элементов рельефа до познания зональных особенностей основных генетических типов морфоскульптуры и динамики современных природных и антропогенных геоморфологических процессов (Герасимов, 1946; Мещеряков и др., 1971).

Преимущества космических снимков по сравнению с аэроснимками — более высокая обзорность, эффект интеграции второстепенных деталей объекта, свойство «просвечивания» некоторых структурных черт рельефа через рыхлый покров благодаря комплексу косвенных (ландшафтных) индикаторов — делают их особенно информативными для дешифрирования крупных форм рельефа, которые отражены на них естественно (оптически) генерализованными (Кац и др., 1976). В связи с этим появилась новая возможность изучения планетарного рельефа и значительно расширились возможности морфоструктурного анализа.

Вместе с тем дистанционные методы изучения рельефа повышают значение собственно морфологического исследования (Флоренсов, 1978). Так, например, возможность дешифрирования особенностей орографии горных стран на космических изображениях (КИ) позволяет четко выделять области жестких блоковых деформаций, ограниченные системами линеаментов, отражающими дизъюнктивные тектонические нарушения разных рангов, от областей распространения складчатых хребтов, вызванных латеральным давлением жестких глыб. При этом морфологические (орографические) особенности являются прямым выражением указанных особенностей тектонического строения.

В пределах древних и молодых платформ существует непосредственная возможность дешифрировать (преимущественно по косвенным признакам) глубинные нарушения фундамента, покрытого достаточно

мощным осадочным чехлом. Особенно четко проявляется связь разломов с конфигурацией речных долин. Обнаружение этих связей облегчает и в какой-то степени заменяет сложную морфометрическую обработку топографических карт, которая осуществлялась обычно с этой целью.

Проблема сочленения морфоструктур платформенных равнин и горных стран также получила важное средство непосредственного изучения. Отчетливо обозначились упомянутые выше облекающие дугообразные сочленения выступов платформ со складчатыми системами хребтов. прямолинейные сочленения их по продольным разломам, голого погружение периклиналей складчатых морфоструктур под платформенный чехол или резкое торцовое сочленение горных и платформенных морфоструктур.

На этой основе дешифрирование мелкомасштабных дистанционных изображений Земли из космоса позволяет выяснить как динамические взаимоотношения между разнородными геотектурами, так и комплексы морфоструктур, особенно присущие той или иной геотектуре. Такое дешифрирование облегчает изучение сложного исторического пути, пройденного геотектурой, и дальнейшей эволюции ее рельефа.

К настоящему времени установлен значительный комплекс так называемых косвенных дешифровочных признаков линейных дизъюнктивных тектонических нарушений разных рангов, многие из которых являются по существу морфоскульптурным отражением морфоструктурной неоднородности земной поверхности. В связи с этим возникает возможность решения обратной задачи, которая до сих пор решалась иными методами: изучения морфоструктурной обусловленности пространственного размещения, присущих данному региону или морфоклиматической зоне комплексов морфоскульптуры. В ряде случаев размещение такыров, солончаков, зон дефляции, болот, звеньев древней и современной речной сети и иных эрозионных форм, а также ледниковых, береговых и многих других форм морфоскульптуры находит свое объяснение в морфоструктурной обусловленности. Возможно также реальное установление границ древних и современных морфоклиматических зон. Таким образом, результаты геоморфологического дешифрирования космических изображений могут не только дополнять и уточнять наши знания о рельефе Земли, но нередко позволяют подойти по-новому к решению отмеченных выше и некоторых других проблем геоморфологии.

Степень детальности геоморфологического изучения по космическим изображениям прежде всего зависит от их масштаба и разрешающей способности, диапазоны которых достаточно широки. Поэтому на современном уровне получения визуальной информации при дешифрировании разномасштабных и разносезонных космических снимков Земли малого и среднего разрешения можно решать геоморфологические задачи трех категорий детальности, которые можно условно назвать **глобальными**, **региональными** и **локальными**. Каждая из этих категорий задач требует определенного масштаба съемки и соответствующего ему разрешения на местности.

ГЛОБАЛЬНЫЕ (ОБЩЕПЛАНЕТАРНЫЕ) ЗАДАЧИ ГЕОМОРФОЛОГИЧЕСКОГО ДЕШИФРИРОВАНИЯ

На основе сопоставления данных морфоструктурного анализа и результатов изучения истории формирования современного рельефа Земли с представлениями по глобальной тектонике плит И. П. Герасимов подчеркивает существование двух генеральных категорий геотектур. Относительно стабильными геотектурами являются материковые выступы и впадины океанов, приуроченные к разномасштабным литосферным плитам. Межплитные континентально-океанические и внутри-

континентальные шовные зоны относятся вместе со срединно-океаническими хребтами ко второй, более мобильной категории геотектур. Выделено и кратко охарактеризовано 15 главных элементов морфоархитектуры Земли, или типов геотектур (Герасимов и др., 1974; Герасимов, 1976).

Новое направление геоморфологии, основанное на сопоставлении геотектур для выявления этапов становления рельефа континентов и переходных зон с помощью космических изображений представляется весьма перспективным.

В качестве примера, иллюстрирующего возможности дешифрования космических изображений в целях анализа взаимодействия континентальных литосферных плит, приведем результаты геоморфологического дешифрирования мелкомасштабного (1:10 млн.) космического изображения с системы «Метеор», полученного летом 1975 г. в видимой и ближней инфракрасной зонах спектра и охватывающего площадь около 5 млн. км². Центр космического изображения занимает область «Памирского сгущения» в пределах внутриконтинентальной шовной зоны между Индийской и Туранской литосферными плитами (рис. 1). Естественно, что на мелкомасштабном КИ интерпретируются только геотектуры и крупнейшие морфоструктуры.

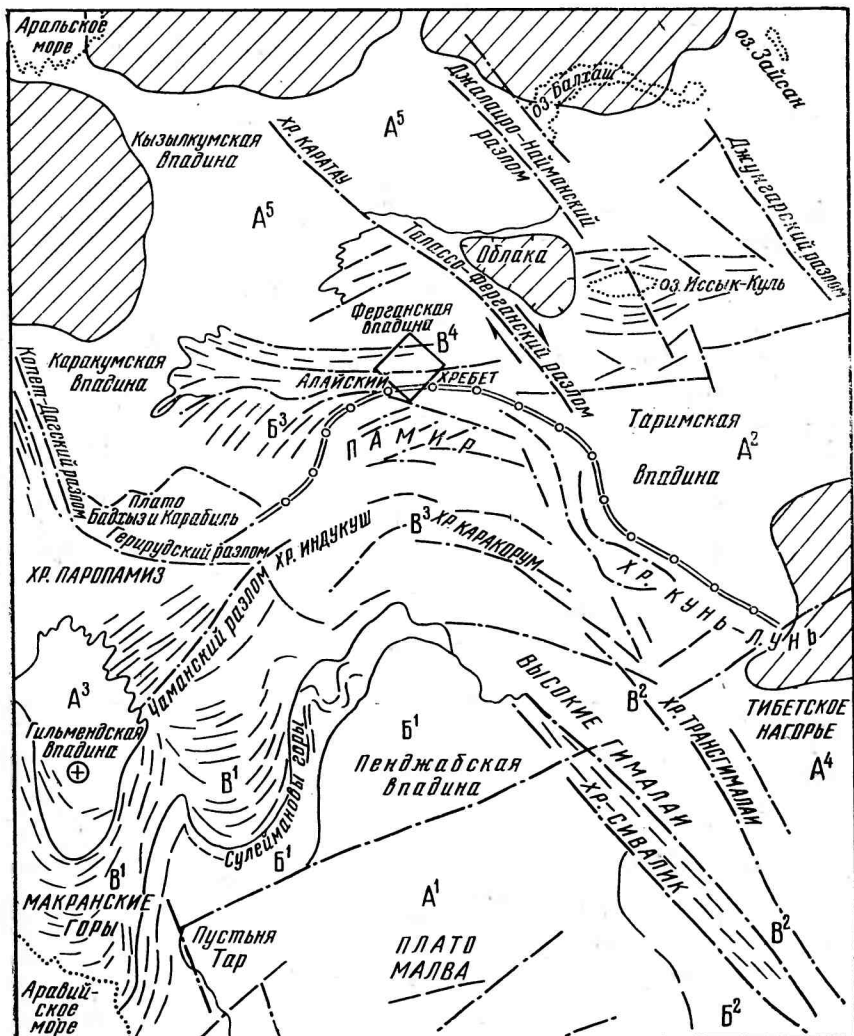
Характерной чертой рисунка КИ «Метеор» является сочетание ареалов изометричных очертаний, отвечающих областям жесткой консолидации субстрата основания (платформенным равнинам, плато и нагорьям срединных массивов и глыб), и ареалов линейных очертаний, соответствующих областям складчатых и глыбовых орогенов и краевых прогибов. Изометричные ареалы более стабильных геотектур и морфоструктур с консолидированным основанием характеризуются монотонным слабодифференцированным рисунком серого тона со слабым выражением гидросети, а линейные ареалы более мобильных морфоструктур — резко дифференцированным многотональным рисунком, на котором выделяются дугообразные (конформные) и прямолинейные секущие (трансформные) морфоструктурные линеаменты. Из них наиболее физиономичны разломы северо-западного простирания (Копетдагский, Талассо-Ферганский, Джалаиро-Найманский, Аксу-Илийский, Каратальский, Джунгарский).

Вариации рисунка стабильных областей с маловыразительным рельефом в значительной степени отражают морфоклиматическую зональную и морфоструктурно обусловленную (провинциальную) дифференциацию морфоскульптуры. Наиболее светлый фон имеют денудационные пустынные равнины Центральноафганского срединного массива с обилием солончаков и такыров. На Индостанской платформенной равнине резко выделяются северо-западная светлая часть (пустыня Тар) и темная южная (муссонные тропические области). Отчетливо прослеживается эффект увеличения обводнения в периферических частях платформенных равнин, прилегающих к горным сооружениям. Четко выделяются различия аккумулятивной и денудационной морфоскульптуры в пределах Казахского мелкосопочника.

Особенно интересен анализ рисунка изображения мобильных областей предполагаемого активного взаимодействия литосферных плит, в результате которого выявляются отчетливые признаки латеральной геодинамики: пучки виргаций, дугообразные изгибы хребтов, трансформные сдвиги и др. (Трифонов, 1976; Шульц (мл.), 1976).

Различия рисунка в области альпийского орогенеза к западу и северо-востоку от Желламского выступа («клина») Индостанской платформы позволяют в общих чертах наметить дешифровочные признаки эпигеосинклинальных и эпиплатформенных орогенных областей.

К западу от трансорогенного поперечного поднятия (Петрушевский, 1977; Чедия, 1973), проходящего через медиану Желламского клина,



—○— 1 ——— 2 ——— 3 4 ——— 5 ——— 6 ⊕ 7 ◇ 8 ⊖ 9

Рис. 1. Основные морфоструктурные элементы межконтинентальной шовной зоны. Схема дешифрирования снимка «Метеор» в м-бе 1 : 10 млн (составил С. М. Александров)

А. Стабильные области: 1 — Индийская докембрийская платформа — возвышенные равнины; 2 — Таримская докембрийская платформа — межгорная впадина; 3 — Центрально-Афганский срединный массив области альпийской складчатости — межгорная впадина; 4 — Тибетский срединный массив области мезозойско-кайнозойской складчатости — высокогорное плато; 5 — Туранская эпигерцинская платформа — низменные и возвышенные равнины; Б. Мобильные области (краевые прогибы): 1 — прогиб Инда; 2 — прогиб Ганга; 3 — Таджикско-Сурхобско-Алайская депрессия (все области — кайнозойские аккумулятивные равнины с локальными поднятиями). В. Мобильные области (эпигеосинклинальные и эпиплатформенные горы): 1 — альпийское складчатое поднятие Мерхед-Сулеймановых гор, возникшее на месте геосинклинали; 2 — альпийское глыбовое поднятие Гималаев, возникшее на месте докембрийской платформы; 3 — альпийское складчатое-глыбовое поднятие (скупивание) Памира, возникшее на гетерогенном основании в зоне наиболее интенсивного взаимодействия литосферных плит; 4 — альпийское глыбовое поднятие Тянь-Шаня, возникшее на месте эпипалеозойской платформы. Дополнительные обозначения: 1 — система пограничных глубинных разломов; 2 — крупнейшие глубинные разломы; 3 — границы морфоструктур; 4 — границы водных бассейнов; 5 — сдвиги по разломам; 6 — простирающие морфоструктуры; 7 — новейшие вулканические проявления; 8 — космический снимок «Союз-22» (см. рис. 3); 9 — облачный покров

на месте мезозойско-кайнозойских геосинклинальных бассейнов со слоистыми, преимущественно флишевыми формациями, возникли складчатые структуры, геоморфологически выраженные в виде систем правильных линейных поднятий (песчаники, известняки) и разделяющих их депрессий (глинистые сланцы, мергели). Системы Туркмено-Хорасанских (Копетдаг) и Макран-Сулеймановых гор на снимке имеют полосчатый

рисунок, поскольку горные гряды изображаются темнее, чем депрессии со специфической пустынной морфоскульптурой (шоры, солончаки, такыры). Местами в рельефе чередуется до 20 куэстообразных гряд и денудационно-тектонических депрессий. Правильный дугообразный рисунок складчатых пучков по простиранию сменяется узлами скупивания, приуроченными к погребенным выступам фундамента плиты (район Кветты). Сходен рисунок линейных морфоструктур Таджикской депрессии, где пережим приурочен к сближению Гиссарского (Алайского) хребта и Западного Памира. Трансформные разломы ограничивают крупные пучки складчатых дуг, а внутри пучков прослеживаются слабее, с чем связана правильность очертаний дуг. Весьма выразителен Чаманский разлом (Мезозойско-кайнозойские..., 1977), разделяющий флишевую область (дугообразный полосчатый рисунок) и область древних массивов Афганистана (линейно-дендритовидный рисунок).

Северо-восточнее Джелламского клина в области эпиплатформенного орогенеза рисунок изображения резко меняется. Глыбово-сводовое поднятие Гималаев эпиплатформенной природы (Ганссер, 1967) имеет четкое прямолинейное ограничение по Главному пограничному разлому. На снимке отражено разделение поднятия на области: Субгималаев, Трансгималаев и Высоких Гималаев. В качестве границы между последними отчетливо прослеживается Центральный разлом, совпадающий с продольными долинами Инда и Брахмапутры. Лишь на северо-западе при переходе к мезозойско-кайнозойской геосинклинали Каракорума и Куньлуня наблюдаются дугообразные простираны морфоструктур, огибающих Восточный Памир. Из деталей изображения прослеживается линейное простиранье молассовой области (дробный дендритовидный рисунок низкогогорья, сложенного сиваликскими молассами); наложенный рисунок поперечной antecedентной долины Инда, удивительно близкий рисунку долины Пянджа.

Горный узел сочленения Гиндукуша, Памира и Каракорума предстает на снимке как крупнейшее скупивание хребтов, ограниченное с севера дугообразным Дарваз-Гиндукушским глубинным разломом.

В области глыбовых поднятий Тянь-Шаня преобладают субширотные линейные поднятия значительной ширины, разделенные линейными и изометричными впадинами и диагонально пересеченные трансформными разломами, наиболее выразительным из которых является Талассо-Ферганский. Параллельны ему Джалаиро-Найманский, Аксу-Илийский, Каратальский и Джунгарский. Преимущественно линейный рисунок глыбовых эпиплатформенных поднятий благодаря обилию продольных и секущих разломов резко отличается от дугообразного рисунка складчатых эпигеосинклинальных областей.

При изучении особенностей геотектур платформенных равнин наиболее надежно дешифрируются линейные структурные нарушения, как это показано ниже на примере дешифрования Туранской, Тургайской равнин и Казахского мелкосопочника по данным мелкомасштабного телевизионного изображения (ТВИ) «Метеор», полученного в июле 1976 г. в ближней инфракрасной зоне спектра (рис. 2).

Степень, характер и время консолидации пород фундамента, служащие признаком геоструктурного подразделения платформенных равнин на древние и молодые, слабо проявляются в рельефе вследствие значительной мощности недислоцированного или слабодислоцированного осадочного чехла. Исключение составляют лишь геотектуры щитов. Поэтому выявление связи особенностей строения фундамента с рельефом равнин представляется весьма актуальной, но трудной задачей. Как отмечал Ю. А. Мещеряков (1965), молодые платформенные равнины, имеющие менее консолидированный фундамент (в отличие от древних), характеризуются известной дробностью рельефа, наличием ряда гипсометрических уровней поверхности, значительными отклоне-

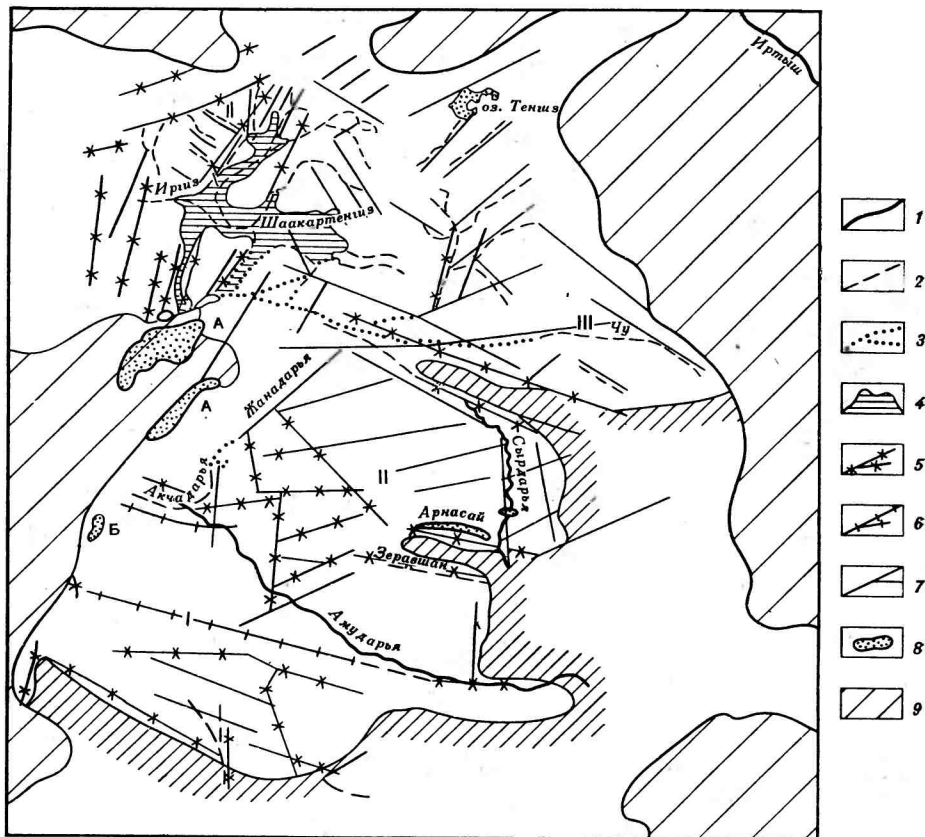


Рис. 2. Схема дешифрирования линейных структурных нарушений в области Туранской, Тургайской равнин и Казахского мелкосопочника по данным мелкомасштабного ТВИ «Метеор» от 15 июля 1976 г. Ближняя ИК-зона 0,8—1,0 мкм (составила М. Е. Горю-децкая)

Долины современных рек: 1 — крупных; 2 — средних и малых. Древняя речная сеть; 3 — мертвые долины; 4 — понижение в рельефе, объединяющее южный отрезок Тургайской ложбины, впадину Шолкартенгиз и северо-аральский отрезок южного окончания Тургайской ложбины. Линейные структурные нарушения рельефа: 5 — установленные по данным геолого-геофизических исследований и подтверждаемые космогеоморфологическим анализом; 6 — предполагаемые по данным наземных геоморфологических исследований и космогеоморфологического анализа; 7 — предполагаемые по данным космогеоморфологического анализа. Прочие обозначения: 8 — водоемы; А — фрагменты впадины Аральского моря; Б — впадина Сарыкамыш; 9 — границы распространения облачности. Сегменты: I — Каракумский, II — Кызылкумский; III — Чуйский. Частая косая штриховка — граница горного обрамления

ниями от средней высоты равнины в связи с присутствием в их границах низкогорий. Рельеф этих равнин в целом более молод и тектогенен: здесь преобладают плиоцен-четвертичные поверхности, в формировании и деформациях которых участвовали новейшие, неоген-четвертичные движения. Поэтому мы вправе ожидать в их пределах более тесную связь современного рельефа с различными особенностями структуры фундамента.

Центральную часть снимка занимает область аридной Туранской равнины с преобладанием пустынь и полупустынь, которая выглядит на снимке в целом однообразно, монолитно и крупноконтурно. Крупнопятнистый изометричный рисунок, обусловленный различиями в оттенках серого цвета, заметный на снимках только в ближней инфракрасной (ИК) зоне, в ряде случаев все же позволяет дешифрировать линейные элементы рельефа (рис. 2). Отмеченное специфическое изображение ее поверхности на мелкомасштабных КИ отражает особенности истории развития рельефа этой геотектуры: преобладание крупнейших отрица-

тельных, реже положительных изометричных новейших структур, обусловивших преимущественную аккумуляцию в течение геоморфологического этапа развития и большую мощность осадочного чехла, широкое распространение молодых аккумулятивных равнин и относительное однообразие в проявлении аридных процессов рельефообразования (Некоторые черты тектоники, 1970; Федорович, 1975).

Совершенно иное изображение на том же снимке и в тех же зонах спектра имеет область Тургайской равнины, которая выделяется сочетанием общего мелкопятнистого, пестрого тона и светло-серого, наложенного на него линейного рисунка. Указанное отличие отражает особенности рельефа и тектонического строения этой области, расположенной в субмеридиональной зоне стыка Туранской и Западно-Сибирской плит, структур Урала и Казахского щита. В центральной части Тургайской равнины находится субширотное седловинное поднятие фундамента (Рудкевич, 1969). Результатом унаследованной в новейшее время тенденции к субширотному поднятию является субширотная ступенчатость рельефа в виде системы разновозрастных денудационных равнин, подвергшихся линейному эрозионному расчленению (Городецкая, 1975).

Наличие древней шовной структурной зоны на стыке погребенных структур преимущественно субмеридионального уральского простираения (герциниды) и погребенных структур преимущественно субширотного и северо-западного казахского простираения (каледониды) дешифрируется на КИ через линейный рисунок речной сети и субмеридиональную ориентировку древней Тургайской ложбины.

Изображение области Казахского мелкосопочника в отличие от равнин Турана и Тургая преимущественно темно-серое, местами почти черное, а его рисунок — линейно-пятнистый «шашечный». И то и другое подчеркивает индивидуальность этой геотектуры, связанной с выступом Казахского щита, и блоковый характер ее морфоструктуры.

В геоморфологическом отношении — это приподнятая, преимущественно покольная равнина с участками островных гор (Герасимов, 1946). Линейно-пятнистый «шашечный» рисунок, характеризующий эту геотектуру на ТВИ, обусловлен наличием разновысотных уровней — блоков некогда единой поверхности мезозойского пенеплена, неравномерно поднятых в результате новейших складчато-глыбовых движений. Разрывные нарушения имеют преимущественно северо-западное простираение на северо-востоке, юго — юго-западное на юге и северо-восточное на северо-востоке области (Финько, 1975). Они частично наследуются речной сетью. На ТВИ они проявляются главным образом через изменения в литологии рельефообразующих пород, слагающих отдельные блоки. Наряду с этим на ТВИ в ИК-зоне на юго-западе мелкосопочника отчетливо прослеживается крупная кольцевая структура. Таким образом, в целом Казахская геотектура четко обособляется на мелкомасштабных КИ от геотектур Турана и Тургая.

Приведенные примеры дешифрирования наиболее крупных форм рельефа Земли и их соотношений по мелкомасштабным КИ с достаточной очевидностью демонстрируют возможность выявления как динамических соотношений разнородных геотектур в зонах их наиболее активных латеральных взаимодействий (шовных зонах), так и индивидуального комплекса морфоструктур (присущих данной геотектуре), отражающего сложную историю ее развития. Все эти динамические и исторические особенности геотектур находят свое интегральное выражение в особенностях рисунка КИ.

Применение к решению задач глобальной геоморфологии фотографических КИ более крупного масштаба (1:2,5 млн. и крупнее) и большей разрешающей способности может расширить возможности геоморфологического дешифрирования без потери главного достоинства мелкомасштабных изображений — их обзорности путем использования мон-

тажных фотосхем, что возможно, однако, лишь при наличии материалов непрерывной площадной космической фотосъемки без облачного покрова. Значение таких материалов для геоморфологии трудно переоценить.

РЕГИОНАЛЬНЫЕ ЗАДАЧИ ГЕОМОРФОЛОГИЧЕСКОГО ДЕШИФРИРОВАНИЯ

Круг задач, условно названных «региональными», настолько обширен, что по существу охватывает все основные проблемы геоморфологии, разрешению которых в разной мере могут служить КИ. Среди них в настоящее время на первое место можно поставить дешифрирование в целях выделения, изучения и картирования крупных морфоструктур как форм рельефа, возникших при ведущей, активной роли эндогенного фактора. Таким образом, привлечение космических снимков к изучению морфоструктур предполагает выявление зависимости макроформ рельефа от их тектонического и геологического строения.

Рассмотрим возможности дешифрирования КИ морфоструктуры гор и равнин на конкретных примерах.

На схеме дешифрирования (рис. 3) опубликованного (Сагдеев, 1977) цветного фотоснимка Памиро-Алая, полученного с космического корабля «Союз-22» летом 1976 г. в м-бе 1 : 500 000, выделяются морфоструктуры Ферганской депрессии, Алайского хребта, Сурхоб-Алайской депрессии и Заалайского хребта. При этом отчетливо видны границы указанных разнородных морфоструктур. Южную границу мезозойско-кайнозойской Ферганской депрессии маркируют палеозойские эффузивы, прослеживающиеся на снимке темной прямолинейной полосой вдоль Южно-Ферганского глубинного разлома (офиолитовый пояс). Локальные поднятия, субпараллельные борту депрессии, представленные полосой адыров, отчетливо выражены в виде ареалов светлого тона, резко контрастирующих с оазисами.

Все указанные выше морфоструктурные области имеют индивидуальные и устойчивые дешифровочные признаки, позволяющие выделять их нередко не только на среднемасштабных, но и на мелкомасштабных КИ («Метеор»).

Морфоструктурные районы и комплексы морфоскульптур в горных странах выделяются лишь на среднемасштабных КИ. Так, в пределах Алайского хребта дешифрируются четыре района: северный известняковый хребет (с крутосклонными прямолинейными формами расчленения), Охнинская впадина (с уникальным геоморфологическим объектом — веерообразной неогеновой Хайдаркенской дельтой), центральный кристаллический хребет (с дендритовидным рисунком гидро сети и гляциально-нивальным поясом) и южный песчаниково-известняковый хребет.

В пределах Алай-Сурхобской депрессии выделяются три района: район умеренно расширенной долины юго-западного простираения с хорошо выраженными террасами, широкой поймой, разветвленным руслом Сурхоба; район субширотного простираения, где долина Сурхоба резко сужена под влиянием новейших надвигов с юга; район запад — юго-западного простираения, где долина особенно расширена (вне пределов схемы).

Дешифрирование среднемасштабных КИ позволяет детализировать геоморфологическое строение узловых морфоструктур при региональном картографировании. Большим преимуществом КИ перед аэросъемкой является их большая обзорность, что позволяет проследить непосредственно сложные переходы между геоморфологическими элементами различных рангов.

Существенный интерес представляет дешифрирование области сближения Алайского хребта и Северного Памира, представляющей

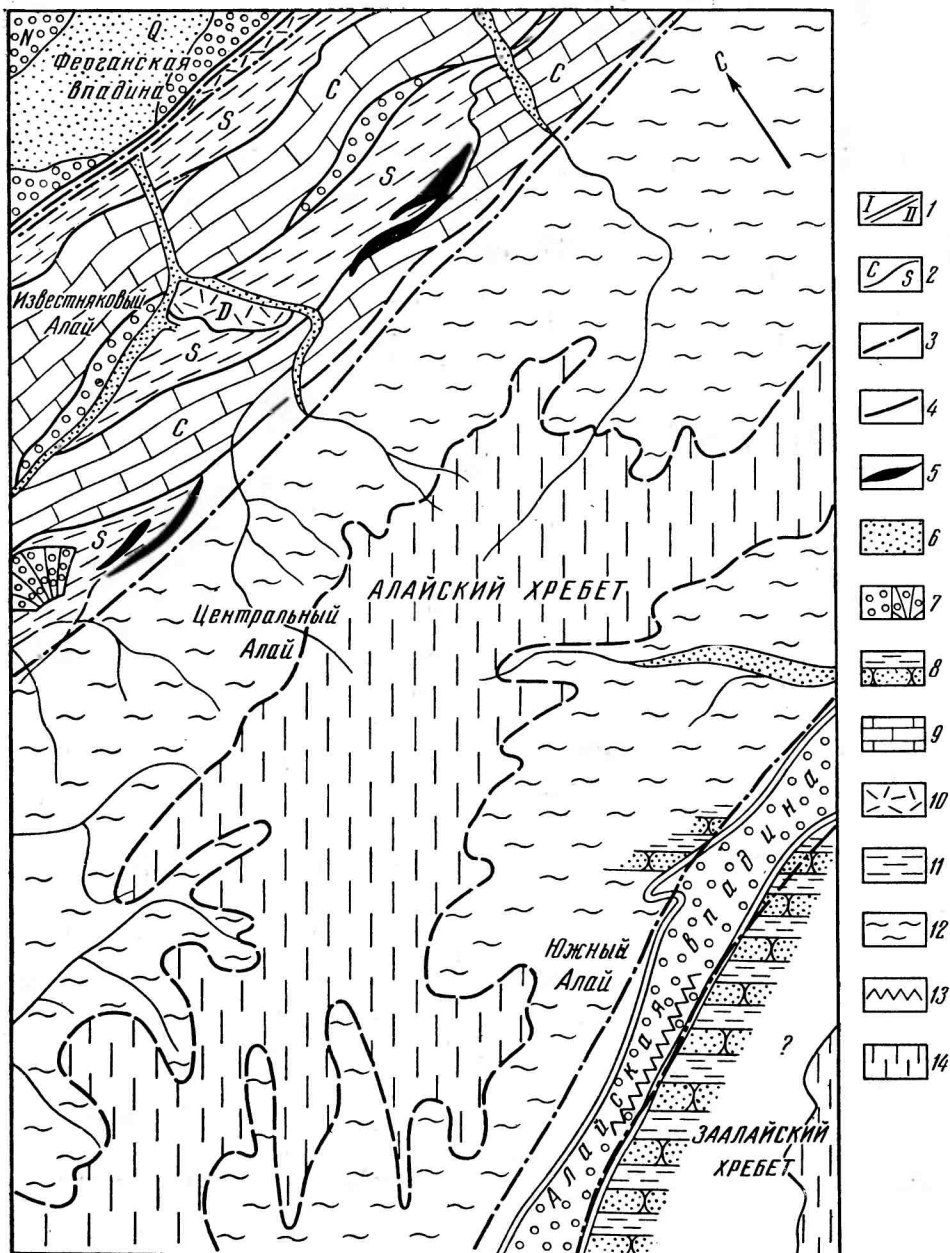


Рис. 3. Основные морфоструктурные элементы зоны сочленения Памира и Тянь-Шаня. Схема дешифрирования космического снимка с корабля «Союз-22» в м-бе 1:0,5 млн (составил С. М. Александров)

1 — границы морфоструктур; 2 — индексы литолого-петрографических комплексов (силур, девон, карбон) и границы между комплексами; 3 — основные морфоструктурные комплексы; 4 — основные литологические границы; 5 — офиолиты. Основные литологические комплексы, выраженные в рельефе: 6 — четвертичные отложения; 7а — неогеновые отложения (песчаники, сланцы, красноцветы); 8 — мезозойско-кайнозойские отложения (известняки); 9 — каменноугольные отложения (известняки); 10 — девонские отложения (эффузивы, туфы); 11 — силурийские отложения (сланцы); 12 — нерасчлененные палеозойские отложения (кристаллические сланцы, граниты); 13 — зона наибольшего сближения Памира и Тянь-Шаня; 14 — снежно-ледовый покров

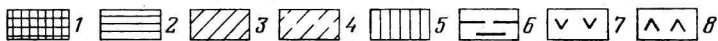
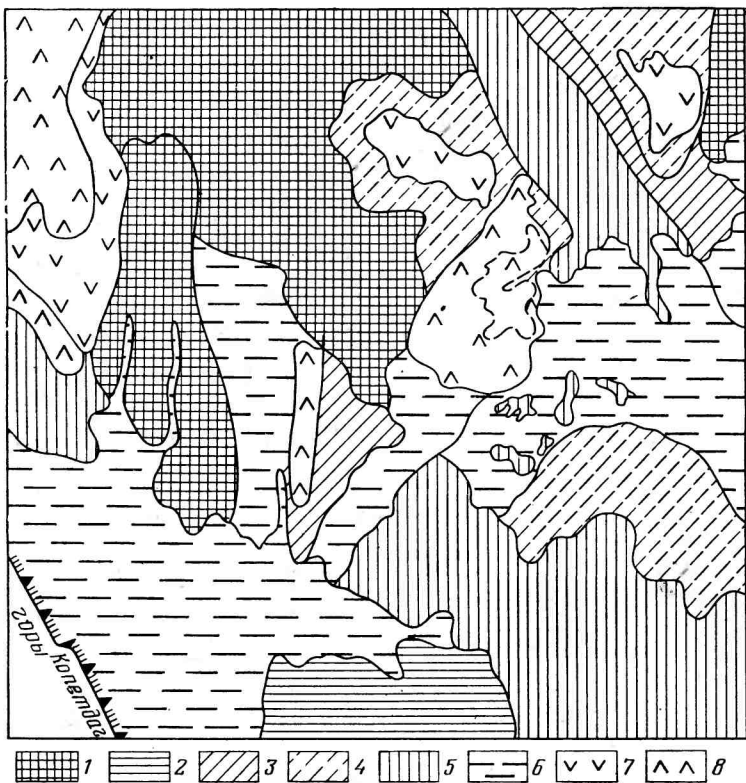


Рис. 4. Схема дешифрирования морфоструктур и их типов на территорию юго-запада Туранской равнины по данным среднемасштабного КИ, «Салют-4», июль 1975 г. (составила М. Е. Городецкая)

Положительные морфоструктуры. Относительно повышенные (более 200 абс. м): 1 — плато; 2 — возвышенности, гряды, увалы; 3 — равнины наклонные; 4 — равнины слабонаклонные. Относительно пониженные (до 120 абс. м): 5 — равнины субгоризонтальные. **Отрицательные морфоструктуры:** 6 — низменности (менее 100—120 абс. м); впадины: 7 — с дном выше 0 абс. м, 8 — с дном ниже 0 абс. м

один из тектонических пережимов в шовной зоне между литосферными плитами. Между долинами рек Муксу и Алтындара Сурхоб-Алайская депрессия резко суживается, а дренирующая ее долина Кызылсу имеет antecedentный характер. Депрессия здесь асимметрична: ее южный борт, сложенный красноцветами мезозоя — кайнозоя, крут и интенсивно расчленен, а сложенный породами палеозоя северный борт более полог и слабее эродирован. Морфоструктуры этого участка шовной зоны дешифрируются главным образом через различия их геологического строения.

Возможности дешифрирования морфоструктур равнин рассмотрены на примере среднемасштабного КИ (1:2,4 млн.), полученного со станции «Салют-4» в июле 1975 г. в видимой зоне спектра на территорию юго-запада Туранской равнины.

Схема дешифрирования (рис. 4) охватывает Центральный и Южный Устюрт, районы Туаркыра и Низменных Каракумов с участком подгорной равнины Копетдага. Каждый из этих регионов обладает различными соотношениями поверхностей фундамента, промежуточной толщи пермо-триасовых отложений и осадочного чехла (Макаров и др., 1976). В их пределах на снимке дешифрируются конкретные морфоструктуры. Благодаря оптической интеграции тон КИ каждой морфоструктуры

имеет характер, близкий к гомогенному, а их сочетания дешифрируются благодаря контрастным различиям фототона.

Дальнейшее сопоставление выделенных морфоструктур со структурой фундамента и осадочного чехла позволило выявить различные соотношения рельефа и тектонической структуры (прямое, инверсионное, наложенное, сложное).

Выделенные положительные (плато, возвышенности, гряды, увалы, наклонные равнины) и отрицательные (низменности, впадины) морфоструктуры с учетом их простирания группируются в морфоструктурные области, для которых характерны определенные сочетания тех или иных морфоструктур. Как положительные, так и отрицательные морфоструктуры в пределах каждой морфоструктурной области обладают определенным диапазоном изменений фототона и характера рисунка изображения.

Проведенное на основе дешифрирования этого КИ среднего разрешения морфоструктурное районирование значительно уточняет региональную информацию о структурно обусловленном рельефе достаточно обширной территории не только выявлением контуров и взаимного расположения отдельных морфоструктур, но и определением степени и характера выражения древних и новейших тектонических структур в современном рельефе.

Последняя задача, разумеется, решается с привлечением всех имеющихся материалов наземного геолого-тектонического изучения территории.

К региональным задачам дешифрирования КИ при структурно-геоморфологических исследованиях следует также отнести выявление на снимках структурно обусловленных линейных элементов рельефа, или морфоструктурных линеаментов (Мещеряков и др., 1971; Герасимов, Ранцман, 1973; Городецкая, 1970, 1972; Асоян, Скарятин, 1973; Александров, Виноградов, 1974). Если мелкомасштабные КИ позволяют проследить значительные отрезки планетарных линейных шовных зон, то среднемасштабные снимки отражают региональные морфоструктурные линеаменты, соответствующие по своему рангу региональным тектоническим разломам.

При их дешифрировании облегчается задача выявления взаимных связей линейных элементов рельефа с линейными зонами глубинных разломов и региональными разломами. Последние в общих чертах дешифрируются и на мелкомасштабных КИ. В качестве примера сошлемся на уже рассмотренную частично схему дешифрирования летнего ТВИ с «Метеора» (рис. 2), с помощью которого удалось выявить системы морфоструктурных линеаментов в пределах равнин Тургая, Турана и юго-запада Казахского мелкосопочника.

Субмеридиональная система линейных нарушений в границах Тургая выражена в рельефе спрямленными участками речных долин и ложбин, а также контактами высотных и генетических уровней, отражающими контрастные морфоструктуры. Эти линеаменты соответствуют основным субмеридиональным зонам разломов в области погребенного продолжения древних структур фундамента «уральского» простирания (Геология СССР, т. XXIV, 1971). Одновременно на том же ТВИ в Тургае дешифрируются новейшие субширотные линеаменты, которые соответствуют контактам новейших субширотных морфоструктур (Городецкая, 1972, 1975).

В пределах Туранской равнины (к востоку и югу от впадины Сарыкамыш) на том же ТВИ отдешифрированы линейные элементы рельефа, которые позволили наметить здесь три сегмента, в пределах которых простирание линеаментов различно: Каракумский, где преобладают линеаменты субширотного простирания; Кызылкумский, где сочетаются линеаменты субширотного, северо-западного и субмеридионального

простираций; Чуйский, где дешифрируется сочетание субширотных, северо-западных и меридиональных линеаментов. Сопоставление выделенных линейных нарушений рельефа с простираанием основных разновозрастных структур фундамента позволяет сделать ряд выводов. Во-первых, можно говорить о проявлении в современном рельефе Каракумского сегмента субширотных линейных тектонических нарушений на значительном удалении от субширотных зон глубинных разломов: Копетдагской и Репетек-Келифской. Во-вторых, обращает внимание косвенное отражение на ТВИ в границах Кызылкумского сегмента субмеридиональной границы областей разновозрастных каледонской и герцинской складчатостей фундамента. В-третьих, схема дешифрирования позволяет наметить в рельефе область сочленения морфоструктурных линеаментов субмеридионального и субширотного простирааний, продолжающих уральское и среднетяньшаньское направления. В-четвертых, в пределах Чуйского сегмента в рельефе прослеживается зона западного продолжения Каратауского разлома, которой соответствует субширотный отрезок долины р. Чу, и зона выклинивания субмеридиональных линеаментов юго-запада Казахского щита.

Задачи регионального геоморфологического дешифрирования КИ, связанные с изучением морфоскульптуры, в значительной степени определяются разрешающей способностью используемого материала и поэтому требуют преимущественно среднемасштабных фотоизображений высокого качества. Однако при решении некоторых частных задач, например для уточнения границ распространения некоторых морфоскульптурных комплексов (аллювиальных равнин, дельт и др.), границ морфоклиматических зон или зависимости общего рисунка эрозионной сети от структурно обусловленных черт рельефа в пределах отдельных регионов, могут использоваться и мелкомасштабные КИ.

Совершенно очевидно, что на КИ даже среднего масштаба отдельные формы морфоскульптуры выявить невозможно, а поэтому задача сводится к районированию тех или иных генетических морфоскульптурных комплексов. В некоторых случаях возможно выявление разновозрастных генераций некоторых генетических типов морфоскульптуры, например ледниковой. Возможность непосредственного дешифрирования морфоскульптурных комплексов зональной как унаследованно развивающейся, так и реликтовой морфоскульптуры и некоторых элементов азональной (например, флювиальной) морфоскульптуры (Веденская, 1963, 1969) переводит теоретические проблемы морфоскульптурного районирования в ранг непосредственно наблюдаемых геоморфологических объектов. При этом, используя ценнейшее свойство КИ — естественную генерализацию этих объектов, полезно сочетать их с высотной аэрофотоъемкой эталонных участков.

По этому же принципу следует строить изучение регионально развитых, преобладающих современных экзогенных геоморфологических процессов и особенно последствий антропогенных воздействий на развитие экзогенных процессов, представляющее вполне самостоятельную задачу геоморфологического дешифрирования КИ.

Разностороннее дистанционное изучение рельефа путем дешифрирования региональных особенностей морфоструктуры и морфоскульптуры как один из наиболее эффективных методов геоморфологического анализа, разумеется, не исключает и комплексного морфогенетического дешифрирования, в ряде случаев более доступного методически. Однако независимо от методического подхода к геоморфологическому дешифрированию естественным синтезом его результатов может стать геоморфологическая карта. Поэтому **геоморфологическое картографирование** в мелких и отчасти средних масштабах — одна из самых перспективных задач регионального дешифрирования КИ.

Можно предвидеть, что на этой новой основе получит мощный стимул развития морфогенетический метод мелкомасштабного геоморфологического картографирования и особенно морфоструктурно-морфоскульптурный метод как наиболее информативная его разновидность. В более ограниченных пределах можно использовать дешифрирование КИ при картировании методом изображения генетически однородных поверхностей. Гораздо сложнее применить его при возрастном («историко-генетическом») подходе к картированию, поскольку возраст рельефа является наиболее трудно определяемой категорией в известной триаде характеристики рельефа.

Подготовка к составлению Атласа природной среды и естественных ресурсов Мира, карты которого предполагается составлять в масштабе не крупнее 1 : 10 млн., потребует анализа разномасштабной космической и мелкомасштабной телевизионной информации на территорию СССР и зарубежные территории, особенно на плохо изученные. Некоторые аспекты мелкомасштабного картографирования в целях обновления карт Физико-географического атласа Мира по КИ с орбитальной станции «Салют» уже рассматривались в литературе (Виноградов и др., 1973).

Дешифрирование КИ имеет вспомогательное значение и при составлении Геоморфологической карты СССР в м-бе 1 : 2,5 млн., работа над которой уже ведется. Мелкомасштабные снимки в этом случае целесообразно использовать для межрегиональных корреляций.

Рассмотренные задачи геоморфологического дешифрирования КИ отдельных регионов, конечно, не исчерпывают всего разнообразия проблем, решению которых могут помочь съемки из космоса, а лишь иллюстрируют некоторые наиболее перспективные направления исследований.

Геоморфологическое дешифрирование КИ локальных участков земной поверхности или объектов как эталонов может использоваться для детализации, контроля и иллюстрации результатов при решении глобальных и региональных задач в силу ограниченности снятого пространства, что, однако, компенсируется высоким разрешением на местности. Однако нам представляется, что по мере усовершенствования космической съемки круг самостоятельных задач локального геоморфологического дешифрирования будет расширяться, а его результаты будут приобретать все большее народнохозяйственное значение. Немаловажно, что при дешифрировании КИ локальных участков легче применить стереоэффект и многие другие методические приемы обработки снимков (в том числе измерительные полуавтоматические) из богатого арсенала дешифрирования аэрофотосъемки. Не менее эффективно уже упоминавшееся совместное использование аэрофото- и космических изображений.

В труднодоступных горных странах появляется реальная возможность изучения всего разнообразия типов расчленения и фрагментов нерасчлененных поверхностей выравнивания. Отчетливо дешифрируются особенности предгорий, межгорных котловин, нивально-гляциальные комплексы и т. п. Менее перспективно детальное изучение рельефа равнин. Здесь наиболее доступным объектом изучения пока являются общие особенности строения речных долин крупных и средних рек, их изменения на разных участках.

Геоморфологическое дешифрирование снимков высокого разрешения может оказаться чрезвычайно эффективным при выявлении, изучении и картировании **последствий проявления современных стихийных разрушительных сил природы**, таких, как землетрясения, вулканизм, наводнения, сели, обвалы и др. Именно крупномасштабная съемка м-ба от 1 : 1 млн. и крупнее, с определенной повторяемостью, может дать полное представление о состоянии природной среды в трудно-

доступном районе недавнего извержения вулкана или в горной области в районах зарождения селей, снежных лавин и т. д. При этом совершенно необходимо и применение материалов аэросъемки. Наряду с констатацией фактов подробный анализ динамики рельефа дает возможность на основании знания района и прогнозирования стихийного бедствия предотвратить его последствия.

Не менее важной представляется также задача изучения с помощью космических средств съемки нежелательных геоморфологических последствий **хозяйственной деятельности**, вызывающей появление новых и ускорение действующих процессов. В этом случае имеется в виду изменение береговой линии водоемов, развитие геоморфологических процессов на осушившихся участках побережий озер и морей, а также в зонах влияния водохранилищ; возникновение и развитие современных очагов развевания песков; поражение пахотных земель ветровой эрозией, современным оврагообразованием, плоскостным смывом и т. д. И в этом случае необходимо изучение КИ с достаточно высокой разрешающей способностью.

Выше были отмечены основные группы задач собственно геоморфологического дешифрирования. Кроме этого, физиономичность рельефа, его большая индикаторная роль при любом природном дешифрировании КИ всех масштабов и сезонов съемки позволяют использовать результаты геоморфологического дешифрирования в прикладных целях: при исследованиях структурно-тектонических, литолого-петрографических, гидрогеологических, инженерно-геологических, почвенно-мелиоративных, а также при поисках полезных ископаемых.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Важнейшая задача геоморфологического дешифрирования КИ мелких масштабов — выявление планетарных закономерностей рельефа Земли в пределах разнотипных и разновозрастных крупнейших геотектур: шовных зон и литосферных плит. Дешифрирование морфоструктур и морфоструктурных линейментов на среднемасштабных КИ позволяет объективно осуществить морфоструктурное районирование и производить сравнительный анализ структурно-геоморфологического строения различных геотектур в целях выявления присущего им исторически сложившегося комплекса морфоструктур. Региональное геоморфологическое дешифрирование КИ может разрешать задачи определения границ морфоклиматических зон и изучения как зональных, так и аazonальных морфоскульптурных комплексов. Синтез полученной с КИ информации о морфоструктурных и морфоскульптурных особенностях рельефа может служить целям геоморфологического картографирования. Применение КИ с высокой разрешающей способностью позволит использовать их при изучении динамики современных геоморфологических процессов, в том числе катастрофических, а также антропогенно обусловленных изменений рельефа.

ЛИТЕРАТУРА

- Александров С. М., Виноградов Б. В. О морфоструктурной интерпретации космической фотографии Прибалхашья. «Докл. АН СССР», т. 219, № 5, 1974.
- Асоян Д. С., Скарятин В. Л. Геолого-морфологическое дешифрирование глобальных космических фотоснимков Земли, полученных АМС «Зонд-5». «Изв. вузов. Геодезия и картография». № 5, 1973.
- Виноградов Б. В., Миронов Б. П., Сердюкова Е. В. Опыт обновления карт Физико-географического атласа Мира по фотографиям с орбитальной станции «Салют». «Докл. АН СССР», т. 211, № 5, 1973.
- Веденская И. Э. Основные типы морфоскульптуры, распространенной в СССР. «Изв. АН СССР. Сер. геогр.», № 5, 1963.
- Веденская И. Э. О морфоклиматической зональности на территории СССР. «Изв. АН СССР. Сер. геогр.», № 3, 1969.

- Ганссер А. Геология Гималаев. М., «Мир», 1967.
- Герасимов И. П. Опыт геоморфологической интерпретации общей схемы геологического строения СССР. «Пробл. физ. географии», вып. 12, М.—Л., 1946.
- Герасимов И. П., Ранцман Е. Я. Морфоструктура горных стран и их сейсмичность. «Геоморфология», № 1, 1973.
- Герасимов И. П., Живаго А. В., Коржуев С. С. Геоморфологические и палеогеографические аспекты новой теории глобальной тектоники плит. «Изв. АН СССР. Сер. геогр.», № 5, 1974.
- Герасимов И. П. Архитектура Земли (геотектуры) в свете глобальной тектоники плит. «Геоморфология», № 3, 1976.
- Городецкая М. Е. Геоморфология Тургайской ложбины в связи с проблемой переброски Западно-Сибирских вод в Среднюю Азию. «Геоморфология», № 3, 1970.
- Городецкая М. Е. Основные морфоструктурные линейменты и цикличность морфоструктурного развития Западно-Сибирской равнины. «Геоморфология», № 4, 1972.
- Городецкая М. Е. О субширотной новейшей структуре Тургайского прогиба. «Геоморфология», № 4, 1975.
- Геология СССР, т. XXXIV, кн. 2, М., «Недра», 1971.
- Кац Я. П., Рябухин А. Г., Трофимов Д. М. Космические методы в геологии. Изд-во МГУ, 1976.
- Макаров В. И., Соловьева Л. И. Перекрестный структурный план земной коры и проблема проявления ее глубинных элементов на поверхности (на примере Тянь-Шаня и Туранской плиты). В сб. «Иссл. природн. среды косм. средствами», т. 5, М., 1976.
- Мещеряков Ю. А. Структурная геоморфология равнинных стран. М., «Наука», 1965.
- Мещеряков Ю. А., Асоян Д. С., Миронов Б. П., Олейников И. Н. Спутниковая география. Предпосылки развития и некоторые задачи. «Изв. АН СССР. Сер. геогр.», № 3, 1971.
- Мезозойско-кайнозойские орогенические пояса. Т. 1. М., «Мир», 1977.
- Некоторые черты тектоники запада Средней Азии (объяснительная записка к тектонической карте запада Средней Азии м-ба 1:1 000 000), ред. Г. Х. Диккенштейн, К. Н. Кравченко. М., 1970.
- Петрушевский Б. А. Индо-Памирская зона — один из важнейших поперечных линейментов Азии. «Бюл. МОИП. Отд. геол.», № 5, 1977.
- Рудкевич М. Я. Тектоника Западно-Сибирской плиты и ее районирование по перспективам нефтегазоносности. М., «Недра», 1969.
- Сагдеев Р. З. Изучение природных ресурсов Земли из космоса. «Вестн. АН СССР», № 3, 1977.
- Трифонов В. Г. Позднечетвертичные разрывные нарушения и их распознавание на космических снимках. «Изв. вузов. Геол. и разведка», № 11, 1976.
- Федорович Б. А. Равнины Средней Азии. В кн. «Равнины и горы Средней Азии и Казахстана». М., «Наука», 1975.
- Финько Е. А. Центральнo-Казахстанский мелкосопочник. Морфоструктура. В кн. «Равнины и горы Средней Азии и Казахстана». М., «Наука», 1975.
- Флоренсов Н. А. Очерки структурной геоморфологии. М., «Наука», 1978.
- Чедия О. К. Юг Средней Азии в новейшую эпоху горообразования. Фрунзе, «ИЛИМ», 1973.
- Шульц С. С. (мл.) Системы левых и правых сдвигов Евразии на космических снимках. «Изв. вузов. Геол. и разведка», № 11, 1976.

Институт географии
АН СССР

Поступила в редакцию
18.VIII.1978

ACTUAL TASKS OF THE GEOMORPHIC INTERPRETATION OF SPACE IMAGES OF THE EARTH

A. A. ASEEV, S. M. ALEKSANDROV, M. E. GORODETSKAYA

Summary

Small scale space images interpretation reveals geotectures' features, i. e. those of lithospheric plates and orogenous sutural zones. Middle (regional) scale space images interpretation reveals individual morphostructures and allows to subdivide an area into morphostructural units. Interpretation of space images of high resolution (especially multizonal and multispectral) is promising for studies of morphostructures and geomorphic processes.