

НАУЧНЫЕ СООБЩЕНИЯ

УДК 551.432(61)

Д. С. АСОЯН

**ОПЫТ ИЗУЧЕНИЯ БЛОКОВЫХ МОРФОСТРУКТУР
ПО ГЛОБАЛЬНЫМ КОСМИЧЕСКИМ ФОТОГРАФИЯМ**
(на примере Северной Африки)

В результате первых опытов структурно-геоморфологического анализа космических глобальных фотографий Земли, полученных советской автоматической межпланетной станцией (АМС) «Зонд-5», в Северной Африке были выделены ранее неизвестные крупнейшие линейные морфоструктуры, соответствующие зонам дробления разломов (Асоян, 1970; Мещеряков и др., 1971; Асоян, Скарятин, 1973). Дальнейшие исследования показали, что возможности применения фотографий этим не исчерпываются.

Помимо линейных морфоструктур по глобальным космофотоснимкам можно выявить крупнейшие блоковые морфоструктуры. Они еще недостаточно изучены, последовательного их картирования пока еще не проводится. Между тем изучение их имеет большое научное значение, поскольку они отражают план строения преимущественно глубоких структурных этажей — фундамента и более глубоких горизонтальных разделов земной коры в отличие от пликативных морфоструктур типа валов и куполов, отражающих в большей мере структурное строение осадочного чехла. Эта особенность блоковых морфоструктур связана с заложением их по разрывным структурам, более консервативным в своем развитии во времени и пространстве и имеющим более глубокие корни в отличие от пликативных структур (Шатский, 1948). В зависимости же от протяженности и глубины проникновения разрывов, определяющих развитие блоковых морфоструктур, можно выявлять блоки земной коры различных порядков.

Для выделения целостных блоков из сети разрывных нарушений можно с успехом применять традиционные методы морфоструктурного анализа, основанного на принципах, разработанных И. П. Герасимовым, Ю. А. Мещеряковым и другими исследователями. Об этом свидетельствует опыт изучения блоковых структур с применением различных морфоструктурных методов (Пиотровский, 1968; Орлова, 1968; Волчанская, Сапожникова, 1969; Фрих-Хар, Волчанская, 1970; Асоян, 1970).

Опыт наших исследований показал, что по данным дешифрирования аэроснимков (м-ба 1:30 000) и наземным исследованиям (на примере Южной Якутии) можно выявлять только локальные блоковые морфо-

структуры размером 20—25 км в поперечнике. Более крупные морфоструктуры можно выделять, хотя и с большим трудом, и по мелкомасштабным топографическим картам. Однако по космическим изображениям — локальным фотоснимкам, телевизионным изображениям и глобальным фотоснимкам Земли можно их выделять быстрее, точнее и достовернее и по большему числу признаков, поскольку фотоизображение включает в себе значительно больший объем информации чем карта¹. Так, например, локальные космические фотоснимки позволяют изучать как локальные, так и региональные блоковые морфоструктуры размерами около 40—90 км (Асоян, 1970; Мещеряков и др., 1971), вторые — крупные региональные морфоструктуры размерами до первых сотен км (выделены на примере Памиро-Алая и Северо-Востока СССР) и, наконец, последние — крупнейшие региональные и планетарные — в пределах

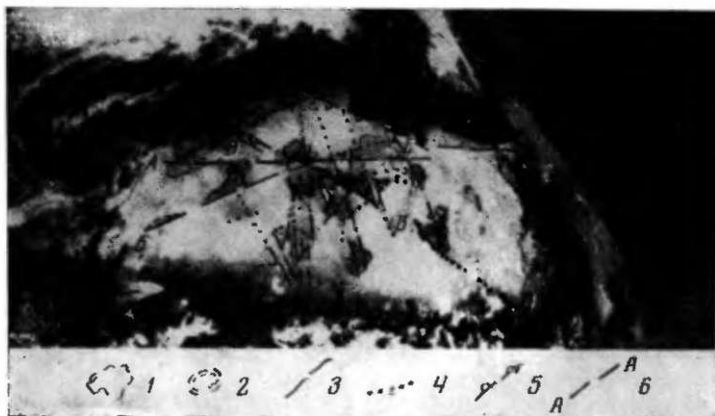


Рис. 1. Схема структурно-геоморфологического дешифрирования территории Северной Африки по глобальному фотоснимку с АМС «Зонд-5»

1 — границы морфоструктур; 2 — предполагаемые кольцевые морфоструктуры; 3 — разрывные нарушения (по Д. С. Асоян, В. Д. Скарятину) с четкими дешифровочными признаками; 4 — то же, с слабыми дешифровочными признаками; 5 — то же, подтвержденные геологическими исследованиями; 6 — крупнейшие разрывные нарушения

целых континентов. Таким образом, на основе разномасштабных космических изображений возможно выявление и локальных, и региональных, и планетарных морфоструктур с различной глубиной залегания осадочного чехла, фундамента и более глубоких горизонтальных разделов земной коры.

В настоящей статье впервые предпринята попытка выявить по данным интерпретации глобальных фотоснимков Земли, полученным с АМС «Зонд-5» (рис. 1, 2), крупнейшие блоковые морфоструктуры в Северной Африке. Большая часть результатов этой работы была получена нами при дешифрировании серии стереоскопических черно-белых глобальных фотоснимков² (рис. 1), для уточнения полученных сведений

¹ Космические локальные фотоснимки получены соответственно с пилотируемых космических кораблей «Союз» и «Джемини», пилотируемых орбитальных станций «Салют», телевизионные изображения — с метеорологических искусственных спутников Земли системы «Метеор», глобальные фотоснимки Земли — с автоматических межпланетных станций «Зонд-5, 7, 8» и пилотируемых межпланетных кораблей «Аполлон».

² Фотоснимки с АМС «Зонд-5» получены 21 сентября 1968 г. в 12 час. дня с высоты 86 тыс. км камерой с $f_k = 400$ мм. Дешифрирование проводилось по фотоснимкам, увеличенным в 3,5 и 10 раз (м-б 1 : 70 000 000, м-б 1 : 7 000 000).

Рис. 2. Карта-схема блоковых морфоструктур Северной Африки по данным интерпретации глобальной космической фотографии с АМС «Зонд-5», м-б 1:30 000 000 (составила Д. С. Асоян с использованием данных Л. Кинга, И. Н. Олейникова, М. Б. Горнунга, Ю. А. Шубера, В. Е. Хайна, Е. Е. Милановского)

А. Молодые горы области аравийской складчатости. 1 — Атласская горная область. Б. Равинно-пластовая область Сахаро-Суданская область. *Платформенные равнины и плато.* Блоковые морфоструктуры I порядка: 2 — кокольные равнины с прямым соотношением рельефа и поверхности фундамента; 3 — подгорные наклонные равнины и ступенчатые плато, пологие склоны, ступенчатые плато и аккумулятивные равнины в древнеаллохных интратектонических впадинах и прогибах. Блоковые морфоструктуры II порядка: 4 — сингенные пластовые равнины и аккумулятивные равнины в древнеаллохных интратектонических впадинах и прогибах. Блоковые морфоструктуры III порядка: 5 — пластовые равнины, испытывающие новейшие поднятия, с амплитудой в 0,5 км, соответствующие блокам и подблокам выступам фундамента, пологие склоны, ступенчатые плато и аккумулятивные равнины в древнеаллохных интратектонических впадинах и прогибах. Блоковые морфоструктуры IV порядка: 6 — мелководные и фрагменты возвышенных кокольных испытывающие новейшие поднятия с амплитудой в 0,5 км, прямые. Блоковые морфоструктуры V порядка: 7 — мелководные равнины с амплитудой новейших поднятий в 1 км, прямые; 8 — кокольные равнины с амплитудой новейших поднятий в 1 км, прямые; 9 — глыбовые горы и краевые возвышенности, соответствующие подблокам и прогибам фундамента с амплитудой новейших поднятий в 1 км, прямые; 10 — границы морфоструктур, соответствующие подблокам и прогибам фундамента с амплитудой новейших поднятий в 1 км, прямые; 11 — молодые лавовые плато и массивы; 12 — разрывные нарушения с четкими дешифровочными признаками (по Д. С. Асоян, В. Д. Скарятин, 1973); 13 — то же, со слабыми дешифровочными признаками; 14 — отметки залегания фундамента (по Г. Шуберт, 1963); 15 — эпичерные землетрясения (по Г. П. Горшкову с дополнениями по Л. Сайксу и К. Лендсмену; Ханн, 1971); 16 — крупные сочонки (на рис. 2 — горизонтальная штриховка); 17 — денудационные уступы.

Блоковые морфоструктуры II порядка. 1 — Западно-Атласские складчато-глыбовые горы; 2 — Восточно-Атласские складчато-глыбовые горы; 3 — Дарская денудационно-аккумулятивная наклонная подгорная равнина — синеклиза (Тиндлу); 4 — Большая Эрг — пластовая равнина — синеклиза (Западно-Сахарская и Восточно-Сахарская); 5 — Эльжбейская кокольная равнина — синеклиза (Восточно-Сахарская); 6 — Таскиф-Аджерские глыбовые горы — склон синеклиз (Восточно-Сахарской); 7 — Маританская кокольная равнина — синеклиза (Регийатский); 8 — Эль-Джурфская аккумулятивная равнина — синеклиза (Таудени); 9 — Ахатгасское высокое кокольное мелководье — массив (Таретский); 10 — Азавасская пластовая равнина — синеклиза (Мали-Нигерийская); 11 — Мурзукская пластовая равнина — синеклиза; 12 — Тибетский молодой лавовый массив; 13 — Восточно-Ливийская припорокская аккумулятивная низменность — синеклиза (Восточно-Ливийская). Блоковые морфоструктуры III порядка (цифры на самой схеме): 1 — Тахатская, 2 — Амрская, 3 — Ичоракская, 4 — Эль-Эглаская, 5 — Муайдрская, 6 — Тадемайтская, 7 — Ахенетская, 8 — Тесаретская, 9 — Амидская, 10 — Эджел, 11 — Хаирская, 12 — Амис-Сеттафедская, 13 — Исавакая, 14 — Убарийская

были привлечены и цветные фотоснимки — глобальные (АМС «Зонд-7» и «Аполлон»), а также локальные фотоснимки — с ПКК «Джемини».

Территория исследований относится к Сахаро-Суданской равнине, развитой на пониженной части древней Африканской платформы. Для нее, как и для всей Африки, характерно преимущественно прямое выражение тектонических структур в рельефе (Олейников, Горнунг, 1967), однако, как это будет отмечено далее, в Сахаре существуют и обращенные и полуобращенные морфоструктуры. В связи с этим, а также благодаря спектральным контрастам ландшафтов Сахары на фотоснимке четко различаются в виде пятен разнородного фототона основные крупные формы рельефа. Так, серыми и светло-серыми фототонами выражены обширные песчаные пустыни — эрги и аккумулятивные равнины. На их фоне четко выделяются горы, хамады и нагорья в виде пятен темных фототон различной интенсивности. Благодаря естественной генерализации изображения элементов рельефа и оптическим свойствам природных образований Сахары контуры их на фотоснимке (м-б 1:7·10⁷) по своей точности отображения соответствуют контурам на гипсометрических картах масштаба мельче в 10 раз (м-б 1:7·10⁶). В то же время на картах, соответствующих фотоснимкам масштабов, они опознаются с большим трудом. Это позволяет в свою очередь с удовлетворительной точностью перенести на топографическую основу результаты дешифрирования.

Сами же формы рельефа Сахары выражены на фотоснимке не прямыми, а косвенными — ландшафтными признаками³. К ним относятся различия в генетических типах четвертичных отложений и составе коренных пород, а также пустынные коры выветривания, развитые на денудационных поверхностях выравнивания.

Изучение морфоструктур различно-

³ Признаки дешифрирования форм рельефа Сахары и разрывных нарушений по глобальному космофотоснимку установлены автором в результате специальных исследований; схема разрывной тектоники по этому фотоснимку составлена совместно с В. Д. Скарятиным (Асоян, Скарятин, 1973).

го типа (сводовых поднятий, межсводовых впадин и др.) Северной Африки было проведено нами путем структурно-геоморфологического дешифрирования и анализа территории (рис. 1). Что же касается методики картирования самих блоковых морфоструктур с применением комплекса приемов морфоструктурного анализа и аэрокосмических изображений, то они еще не разработаны. В связи с этим мы опирались на собственный опыт картирования аналогичных морфоструктур с использованием как аэрофотоснимков (на примере Южной Якутии; Асоян, 1970), так и различных космических изображений.

На основе данного опыта, но уже с учетом соответствующих ограничений и новых возможностей морфоструктурного анализа глобальных космических фотоснимков при изучении блоковых морфоструктур были проведены: 1) дешифрирование крупных орографических единиц и разрывных нарушений (на территории от западного побережья Атлантического океана до Ливийской пустыни); 2) выявление соотношений строго соразмерных и соподчиненных друг другу элементов орографии и тектонических структур; 3) анализ поверхностей выравнивания (по Геоморфологической карте Африки м-ба 1 : 16 млн... Л. Кинга, 1967) и положения в рельефе разрывных нарушений; 4) структурно-геоморфологическая интерпретация данных геологических и геофизических исследований.

В результате дешифрирования по глобальному космofотоснимку разрывных нарушений, которое проводится уже преимущественно по геоморфологическим признакам, были выделены крупные и крупнейшие разрывы земной коры протяженностью от 500 до 5000 км с шириной зоны дробления до 30—40 км, и составлена схема разрывной тектоники. Наиболее крупные из них (рис. 1) относятся к категории глубинных разломов (Асоян, Скаратин, 1973). Во многих случаях зоны дробления этих разломов совпадают с прямолинейными границами разновозрастных поверхностей выравнивания (по Л. Кингу, 1967) и отделяют разновозрастные денудационные поверхности от аккумулятивных; кроме того, ограничивают целиком или частично крупные орографические элементы.

При картировании морфоструктур мы придерживались исторического принципа (по Ю. А. Мещерякову, 1965), учитывая возраст морфоструктур и развитых на них поверхностей выравнивания. На наш взгляд, такой подход особенно необходим при картировании морфоструктур блокового типа, так как он в большей степени, чем морфометрические методы, обеспечивает выявление в условиях мелкоблоковой раздробленности территории целостных блоковых морфоструктур, тектонически автономных и отличающихся характерными особенностями строения, складывающимися в ходе своей сложной истории развития. Таким образом, в результате сопоставления данных морфоструктурного анализа и схемы разрывной тектоники составлена карта крупнейших блоковых морфоструктур Сахары (рис. 2).

Блоковые морфоструктуры выделены с учетом возраста развитых на них поверхностей выравнивания по следующим показателям: площади, характеру тектонических движений, соотношению рельефа с поверхностью фундамента (по Ю. А. Мещерякову, 1965). При составлении карты морфоструктур были использованы данные геоморфологических исследований (Кинг, 1967; Олейников и Горнунг, 1967), а также геологических и геофизических исследований (Chubert, 1968; Хаин, 1971; Милановский, 1969, и др.).

На картируемой территории выделяются Атласская горная область, относящаяся к зоне альпийской складчатости, и Сахаро-Суданская равнинно-платформенная область, соответствующая пониженной части древней Африканской платформы (Олейников, Горнунг, 1967). В пределах Атласской горной области по данным дешифрирования космофо-

тоснимков четко выделяются две блоковые морфоструктуры — Западно-Атласская и Восточно-Атласская. Они разделяются крупным разрывом, выделенным геологическими наземными исследованиями в восточной части и продолженным по данным дешифрирования космofотоснимка с четкими признаками в пределах самой горной области.

Сахаро-Суданская область⁴ разделяется на 11 самостоятельных блоковых морфоструктурных районов. Большая часть крупных морфоструктур выделена И. Н. Олейниковым и М. Б. Горнунгом (1967). Результаты же наших исследований позволили в некоторых случаях уточнить границы данных морфоструктур и выявить для большинства их блоковый характер.

Морфоструктуры Сахаро-Суданской области в основном представляют собой компактные, слабо раздробленные блоки трех- и четырехугольной формы (Мавританская, Драрская и др.) (рис. 2). Большой раздробленностью отличаются морфоструктуры — Тассилин-Адджерская положительная обращенная (глыбовые горы) и Эджелейская положительная полуобращенная (пластовая равнина — синеклиза), обусловленные, с нашей точки зрения, проявлением новейших тектонических движений (по Е. Е. Милановскому, 1969) и, очевидно, непосредственной близостью подвижного Ахаггарского высокого цокольного мелкогогорья (Туарегский массив). Данные морфоструктуры разделены на систему подчиненных блоковых морфоструктур I порядка меридиональными и северо-восточными разрывами, продолжающимися от Ахаггарского блока через эти структуры на север до Атласской горной области.

Формирование Тассилин-Адджерского блока определяется, на наш взгляд, интенсивными новейшими подвижками по крупнейшему разрыву Гир-Джадо-Дарфур ($B-B$, рис. 2), который отделил его от Туарегского древнего массива и обусловил асимметричный характер поднятия.

Формирование же Эджелейского блока связано с крупнейшим широтным разрывом (рис. 1, 2, $B-B$) на севере и примерно параллельным ему разрывом, ограничивающим блок с юга.

Характерные особенности геологического строения и рельефа этих районов позволяют выделить здесь самостоятельные блоковые морфоструктуры: Тассилин-Адджерскую и Эджелейскую и дать прогноз о соответствующих им структурах фундамента. Эти морфоструктуры разделяют крупнейшие, сложнопостроенные, изометричные по своей форме блоковые морфоструктуры — положительную Ахаггарскую — цокольное мелкогогорье — массив и Большой Эрг — пластовую равнину — синеклизу.

В пределах Ахаггарской положительной морфоструктуры выделены подчиненные блоковые и линейные морфоструктуры II и III порядка разнообразной формы, развитые вдоль небольших (250 км) разрывов (горы Тefосет и др.). В северной ее части выделены положительные блоковые морфоструктуры — пластовые равнины и горы, развитые уже на погруженном склоне Туарегского массива — Тесаретская, Ахенетская, Муйдирская⁵, с противоположным знаком новейших тектонических движений. Наиболее активные движения характерны для Муйдирского блока. В южной части морфоструктуры наиболее интенсивными поднятиями отличаются глыбовые горы — Тахатская (абс. отметки 2158 м) и Аирская морфоструктуры (абс. отметки 1800 м).

⁴ Вследствие слабых дешифровочных признаков орографических элементов и разрывных структур в восточной части области блоковые морфоструктуры не выделены.

⁵ Северная граница Ахаггарского мелкогогорья проведена нами по крупнейшей разрывной структуре ($B-B$) с четкими дешифровочными признаками, хотя не исключено, что северная граница этой структуры может быть проведена по северо-восточному разрыву со слабыми дешифровочными признаками, расположенному южнее и приуроченному к границе развития кристаллических пород (рис. 2).

Отрицательная морфоструктура Большой Эрг — пластовая равнина — синеклиза отличается от всех выделенных блоковых морфоструктур замкнутыми границами, проведенными по разрывным нарушениям с четкими дешифровочными признаками и своеобразной ромбовидной формой. В пределах морфоструктуры выделены подчиненные блоки геометрически правильной формы, разделенные системой параллельных меридиональных разрывов. Последние отдешифрированы по меридионально вытянутым и незначительным по своим превышениям поднятиям в рельефе, которые могут быть выделены в качестве морфоструктур III порядка. На них развита, по мнению Л. Кинга (1967), денудационная «постафриканская» (позднекайнозойская) поверхность выравнивания. В строении фундамента здесь выделяются аналогичной формы крупные поднятия, продолжающиеся от Туарегского массива и разбитые продольными сбросами (Хаин, 1971). К этим поднятиям приурочены крупнейшие месторождения — гиганты газа и нефти (Хасси Р'мель и Хасси-Мессауд). Отрицательные блоковые морфоструктуры II порядка Большого Эрга характеризуются прямым соотношением с поверхностью фундамента (рис. 2). Исключение составляет Хамрский относительно приподнятый блок (Хамада-Эль-Хамра), где наблюдается слабое повышение дневного рельефа (абс. отметки 500 м) и значительное поднятие фундамента (—3000 м). Морфоструктура — положительная полуобращенная.

Своеобразный характер имеет Мавританская положительная морфоструктура — цокольная равнина — массив. Для нее характерно понижение поверхности в рельефе в центральной части (абс. отметки 150—200 м), соответствующей собственно Регибатскому массиву, и развитие линейных, вытянутых вдоль разрывов повышенных полуобращенных морфоструктур в северной и южной частях (абс. отметки 500 м), развитых на склоне массива, уже погруженного под осадочные отложения (плато Эль-Ханг, Эль-Нага, Адрар).

Выводы

1. Анализ глобальных космических фотографий Земли представляет собой, наравне с анализом других космических изображений, новый самостоятельный метод изучения мегарельефа и структур земной коры. В качестве новой информации, не обеспечиваемой другими видами изображений, по глобальным фотоснимкам возможно выявлять линейные и блоковые морфоструктуры планетарного масштаба.

2. Одним из эффективных методов изучения блоковых структур является морфоструктурный анализ. Наилучший результат при картировании локальных, региональных, планетарных блоковых структур дает использование комплекса разномасштабных космических изображений.

3. Выявление блоковых морфоструктур позволяет прогнозировать план не только верхних, но и глубоких структурных этажей осадочного чехла, фундамента и горизонтальных разделов земной коры, и тем самым еще более расширяет рамки применения морфоструктурного метода, отличающегося от аналогичных геологических и геофизических методов поиска тектонических структур своей эффективностью и экономичностью. В связи с этим морфоструктурный анализ космических изображений целесообразно использовать на начальных этапах исследований, предшествующих трудоемким наземным и приземным работам.

4. В результате морфоструктурного анализа территории Северной Африки и интерпретации глобального фотоизображения выделены неизвестные ранее крупнейшие линейные морфоструктуры, соответствующие глубинным разломам, и соответствующие им по глубине заложения блоковые морфоструктуры; дан прогноз погребенных тектонических структур.

5. Полученную карту-схему блоковых морфоструктур целесообразно использовать как основу для тектонического районирования; кроме того, она поможет целенаправленно анализировать имеющийся материал по наземным геологическим исследованиям.

6. Разработанная на данном этапе исследований методика морфоструктурного дешифрирования и картирования блоковых морфоструктур, очевидно, может быть применена при изучении аридных стран других континентов по другим глобальным фотоснимкам («Зонд-7, 8» «Аполлон») и при дальнейших фотосъемках Земли из космоса.

ЛИТЕРАТУРА

- Асоян Д. С. Применение комплексного — качественного и измерительного дешифрирования аэроснимков в геоморфологических исследованиях (на примере Южной Якутии). Автореф. канд. дис. М., 1970.
- Асоян Д. С., Скарятин В. Д. Геолого-геоморфологическое дешифрирование глобальных космических фотоснимков Земли, полученных АМС «Зонд-5». «Изв. выс. учебн. завед. Геодезия и аэрофотосъемка», № 5, 1973.
- Волчанская И. К., Сапожникова Е. И. Морфоструктурный метод изучения горных областей. «Вестн. МГУ», № 3, 1969.
- Кинг Л. Морфология Земли. М., «Прогресс», 1967.
- 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 и некоторые задачи. «Изв. АН СССР. Сер. геогр.», № 3, 1971.
- Милановский Е. Е. Карта неотектоники Африки. «Изв. выс. учебн. завед. Геология и разведка», № 5, 1969.
- Олейников И. Н., Горнунг М. Б. Рельеф Африки. В кн. «Рельеф Земли» (Морфоструктура и морфоскульптура). М., «Наука», 1967.
- Орлова А. В. Палеомагматические построения и анализ блоковых структур. М., «Недра», 1968.
- Пиотровский М. В. Мезозойская морфотектоника Алданской антеклизы. В сб. «Проблемы геоморфологии и неотектоники орогенных областей Сибири и Дальнего Востока», т. II. Новосибирск, «Наука», 1968.
- Шатский Н. С. О глубоких дислокациях, охватывающих и платформы и складчатые пояса (Поволжье и Кавказ). «Изв. АН СССР. Сер. геол.», № 5, 1948.
- Фрих-Хар Д. И., Волчанская И. К. Магматизм и блоковая тектоника на примере Приморья и Камчатки. «Изв. АН СССР. Сер. геол.», № 6, 1970.
- Хаин В. Е. Региональная геотектоника. М., «Недра», 1971.
- Chubert G. (ed.). Carte tectonique internationale de l'Afrique (m-б 1:5 000 000). Paris, UNESCO, 1968.

Институт географии
АН СССР

Поступила в редакцию
20.VI.1973

A TRIAL OF BLOCK MORPHOSTRUCTURES STUDIES USING GLOBAL SPACE PHOTOGRAPHS (WITH SPECIAL REFERENCE TO NORTHERN AFRICA)

D. S. ASOYAN

Summary

Previously unknown planetary linear and block morphostructures can be deciphered at global space photographs. The block morphostructures deciphering at the space photographs allows to forecast not only upper structural stage composition, but also structures of deep levels of sedimentary cover, socle and crustal surfaces of discontinuity, thus the application of the morphostructural method has been expanded.

Morphostructural analysis of Northern Africa and global photoimage interpretation revealed great linear (corresponding to deep faults) and block morphostructures as well as some buried tectonic structures. The photointerpretation and block morphostructures mapping methods developed at present stage of studies can be evidently applied to arid regions of other continents when more Earth's global photographs out of space are made.