

## GEOLOGICAL STRUCTURES ON SPACE IMAGES

N. I. KORCHUGANOVA

*Mechanisms used for extraction of information on deep-seated construction of lithosphere from space images are discussed. Classifications of lineaments and ring structures are given. Geological structures with different morphology and genesis (faults, including buried, zones of rock fracture and flexural zones, ring structures, fold and block deformations, structural-material complexes of rocks) are considered.*

*Обсуждаются механизмы обработки информации о глубинном строении литосферы, содержащейся на космических снимках, приводятся классификации линейментов и кольцевых структур. Рассматриваются геологические структуры различной морфологии и генезиса (разломы, в том числе погребенные, флексурные и трещинные зоны, кольцевые образования, складчатые и блоковые деформации, вещественно-структурные комплексы горных пород).*

© Корчуганова Н.И., 1998

## ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ СТРУКТУРЫ НА КОСМИЧЕСКИХ СНИМКАХ

Н. И. КОРЧУГАНОВА

Московская государственная геологоразведочная академия

Космические снимки (КС) стали применять в геологии с 60-х годов. Доступные вначале только для специалистов, они быстро получили широкое признание. На базе КС оформились самостоятельные виды региональных геологических исследований, созданы карты нового типа: космогеологические, космотектонические, космогеодинамические; открыты месторождения полезных ископаемых. Постоянно совершенствуются методы получения космической информации, способы ее преобразования и компьютерной обработки.

### ОБЗОРНОСТЬ И ГЕНЕРАЛИЗАЦИЯ ИЗОБРАЖЕНИЙ НА КОСМИЧЕСКИХ СНИМКАХ

При аэрокосмических съемках регистрируются отраженная от поверхности Земли солнечная радиация и собственное электромагнитное поле системы земная поверхность–атмосфера. Для дистанционного зондирования используют следующие диапазоны волн: ультрафиолетовый (0,27–0,4 мкм), видимый (0,4–0,78 мкм), инфракрасный (ближний 0,7–0,9 мкм; тепловой 3,5–5,0 и 8,0–14 мкм), микроволновой (0,30–10 см). В видимом и инфракрасном диапазонах съемки проводят фотографическими, телевизионными и сканерными методами, в которых используют естественное отражение или вторичное тепловое излучение объектов, обусловленное солнечной радиацией. Эти методы называют пассивными. Активные – радарные методы применяют в микроволновой области излучения, создаваемого искусственным источником направленного действия [5].

Космические снимки получают с межпланетных автоматических станций, искусственных спутников Земли, пилотируемых космических кораблей и долговременных орбитальных станций. От масштаба и пространственного разрешения КС, под которым понимают размеры минимального объекта, различимого на снимке, зависят его обзорность и генерализация изображения. Различают КС глобального, континентального, регионального, локального и детального уровней генерализации [3]. КС детального уровня генерализации близки к высотным аэрофотоснимкам и имеют разрешение на местности первые метры и выше. Снимки локального уровня генерализации отличаются пространственным разрешением в первые десятки метров и захватывают территории в сотни квадратных километров. Их получают фотографическими и телевизионными

системами с высококачественной аппаратурой. КС регионального уровня генерализации позволяют распознавать объекты размером от многих десятков до сотен метров на площади захвата в первые десятки тысяч квадратных километров. Это обычно фотографические и сканерные снимки с пилотируемых космических кораблей и искусственных спутников Земли. КС континентального уровня генерализации (телевизионные и сканерные снимки со спутников) имеют разрешение многие сотни метров, а площади, изображенные на них, составляют сотни тысяч до миллионов квадратных километров. Естественно, что уровень генерализации КС определяет, какого ранга геологические объекты могут одновременно находиться в поле зрения исследователя. Для изучения разномасштабных геологических структур применяются космические снимки разных уровней генерализации. Качественно новую информацию получают при изменении масштаба снимков в 3–5 раз.

КС изучают специалисты различных областей землеведения, которые из интегральной картины, запечатленной на снимке, извлекают необходимую информацию, то есть дешифрирование является тематическим и целевым. Что же дешифрируют геологи? На всех КС независимо от геологического, геоморфологического строения региона, истории его развития и климата выделяются линейные, кольцевые и площадные объекты.

## ЛИНЕАМЕНТЫ

Линейные объекты на КС называют линеаментами (линеаментум – линия, черта). Этот термин ввел в геологическую литературу в начале века американский исследователь В. Хоббс для обозначения прямолинейных форм на земной поверхности, необязательно связанных с тектоническими разрывами и смещениями по ним. Позднее линеамент стал синонимом глубинного разлома и вновь обрел самостоятельное значение только с появлением космических снимков.

В настоящее время геологи под линеаментами понимают линейные неоднородности земной коры и литосферы разного ранга, протяженности, глубины и возраста заложения, которые проявлены на земной поверхности прямо (разрывами) или опосредованно, геологическими и ландшафтными аномалиями. Такие линейные аномалии могут быть обусловлены скрытыми разломами фундамента, флексурными (коленообразными изгибами слоев) и трещинными зонами в перекрывающих осадочных отложениях плитного чехла.

## Разрывы

Типичными представителями линеаментов являются разрывные нарушения земной коры. Они образуются в различных геодинамических услови-

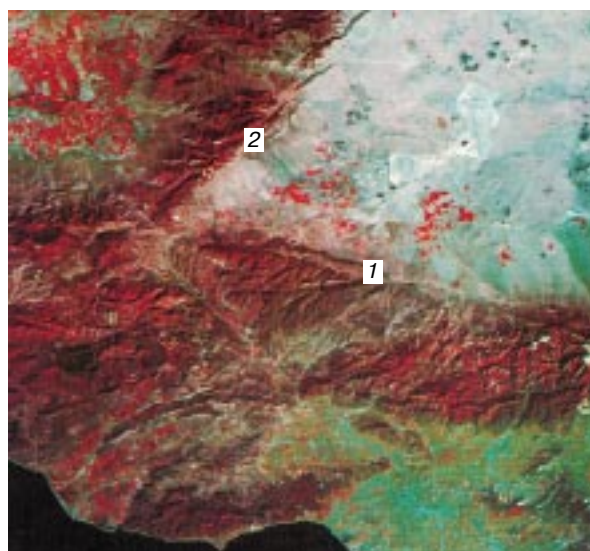
ях, характеризуются разным строением и выражением на КС.

Сбросы, формирующиеся в условиях растяжения земной коры и имеющие наклон поверхности разрыва в сторону опущенных пород, отличаются на КС прямолинейностью, нередко хорошо выраженными уступами, разделяющими блоки с различным геологическим строением, типами рельефа и характером расчлененности.

Раздвиги, перемещение горных пород по которым при растяжении происходит перпендикулярно к поверхности отрыва, обычно заполнены магматическими породами, образующими вертикальные вытянутые узкие тела (дайки) и целые дайковые рои, но могут быть и зияющими.

Взбросы, у которых поверхность сместителя наклонена в сторону поднятых пород, имеют слабо дугообразную форму в плане, выпуклостью направленную в сторону перекрываемых, более молодых пород. Образуются взбросы в обстановке латерального сжатия.

Сдвиги отличаются тем, что смещение горных пород происходит в горизонтальном направлении по простираанию сместителя. На КС сдвиги могут быть обнаружены по однонаправленным смещениям и искривлениям русел, склонов долин, конусов выноса, водоразделов и других форм рельефа. Региональные сдвиги (рис. 1) дешифрируются по кулискому расположению мелких разрывов, эшелонированным гирляндам складок, наличию впадин присдвигового растяжения, характерному рисунку “конский хвост” на окончаниях.



**Рис. 1.** Региональные сдвиги Сан-Андреас (1) и Гэрлок (2). КС со спутника “Лэндсат” (по: Mission to Earth: Landsat Views the World // NASA SP-360, 1976)

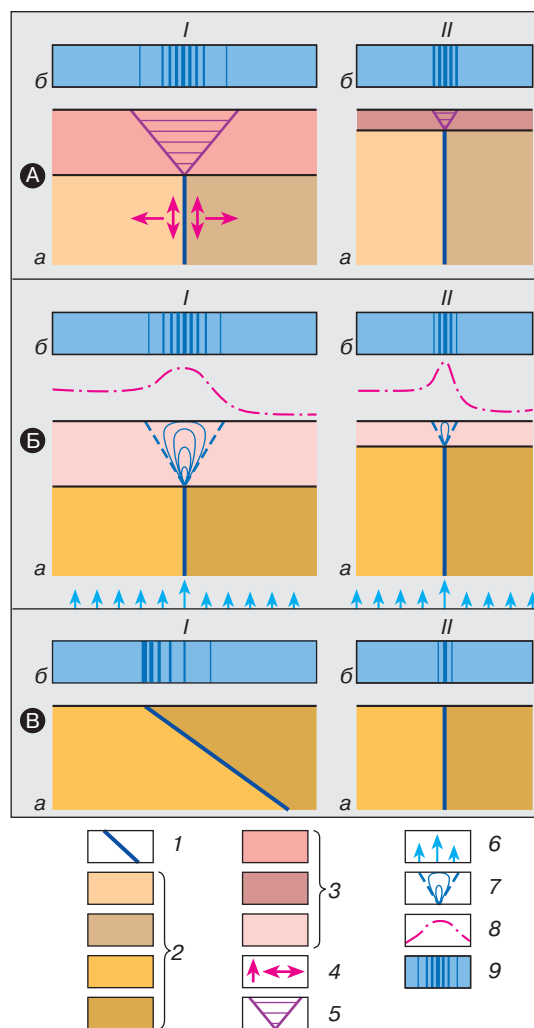
Надвиги образуются при общем продольном сжатии параллельно с образованием складок (со складчатые разрывы). Горизонтальный, пологий или волнистый надвиг с амплитудой перемещения до десятков и даже сотен километров называется тектоническим покровом, или шарьяжем. Они широко распространены в подвижных складчатых системах (Карпаты, Кавказ, Урал, Камчатка). На КС шарьяжи отличаются сложным фестончатым рисунком перемещенных масс (аллохтона), которые в процессе движения распадаются на отдельные пластины, а складчатое строение их сильно усложняется. Во фронтальной части покрова могут присутствовать экзотические останцы (клиппы), отделенные эрозией от аллохтона, а также тектонические окна в аллохтоне, где экзогенными процессами удалены породы его верхних частей.

Морфология, структурный рисунок разрывов на КС помогают определить кинематику и геодинамические условия их формирования. Восстанавливая их по снимкам, необходимо учитывать, что движения по региональным разрывам древнего заложения могли изменяться в связи с меняющимися полями тектонических напряжений. По нарушению молодых форм рельефа и четвертичных отложений дешифрируются активные разрывы.

#### Погребенные разломы, флексурные и трещинные зоны

Многие линеаменты являются погребенными разломами складчатого фундамента или флексурными и трещинными зонами осадочного чехла. Проявление этих деформаций на космических снимках объясняется тем, что процессы, происходящие на разных глубинных уровнях литосферы, воздействуют на вышележащие слои, передавая тепловой, флюидно-газовый потоки и механические деформации, предопределяя особенности геологического строения субстрата, рельефа и почвенно-растительного слоя (рис. 2).

В рельефе линеаменты выражаются закономерными ориентированными зонами, образованными прямолинейными границами горных хребтов и кряжей, берегов морей, озер и крупных болот, спрямленными участками речных и ледниковых долин, цепочками провалов различного генезиса и пр. Ширина таких зон составляет от первых до десятков километров. Поэтому на аэрофотоснимках и при наземных наблюдениях линеаменты обнаруживаются с трудом. На КС они получают отражение благодаря обзорности и генерализации изображения. Четкость их проявления и ширина линейной аномалии зависят от глубины заложения разлома (мощности перекрывающих образований) и его активности. Чем ближе от земной поверхности расположен погребенный разлом и выше его тектоническая активность (вертикальные и/или горизонтальные перемещения по разлому), тем он четче проявлен на КС.



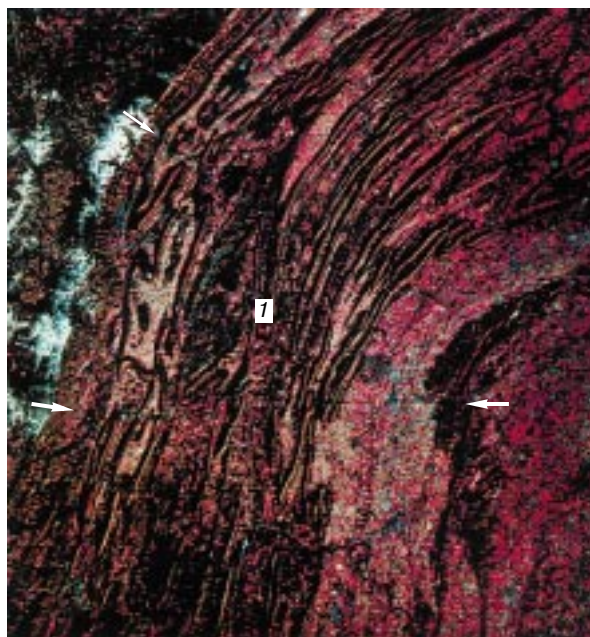
**Рис. 2.** Принципиальная схема положения разломов в разрезе литосферы и их отражения на земной поверхности и космических изображениях в виде линеаментов (по [7]): А, Б – скрытые (не достигшие земной поверхности) разломы, прерывающиеся в качестве таковых на больших (I) или меньших (II) глубинах, в разрезе земной коры (а) и в плане на космическом изображении (б); 1 – разломы; 2 – блоки земной коры, разделяемые разломами; 3 – слои земной коры, не затронутые непосредственно разломами; 4 – возможные варианты механических смещений по разломам; 5 – конус рассеяния механических деформаций; 6 – неравномерный восходящий поток глубинных флюидов, газов, тепла; 7 – конус рассеяния потока флюидов, газов, тепла; 8 – условная кривая величины теплового потока над зоной разлома; 9 – условная интенсивность аномалий на дневной поверхности, связанных с разломами и определяющих яркость и морфологию проявления линеаментов на космических изображениях

В зависимости от соотношения со структурой земной поверхности линеаменты бывают граничные и секущие.

Граничные линеаменты проявлены на снимках с наибольшей выразительностью. Обычно они являются разломными границами блоков земной коры разного порядка. Самые значительные из них — системы разрывов, разделяющие основные геоструктурные области: складчатые пояса (например, в Евразии Средиземноморский, Урало-Монгольский, Тихоокеанский) и основные платформенные области (Восточно-Европейская, Сибирская, Индийская древние платформы). Менее протяженные линеаменты разделяют геоструктурные регионы (щиты платформ, плиты, складчатые системы). В пределах каждого региона устанавливается устойчивая связь линеаментов с внутренним строением верхних горизонтов земной коры.

Секущие линеаменты пересекают территории с различным геологическим строением и историей развития. Обычно эти полосовые аномалии, четкие в горно-складчатых областях, в пределах платформенных равнин имеют неявные, расплывчатые границы, отражая латеральные неоднородности литосферы. Установлено, что, чем выше уровень генерализации и ниже пространственное разрешение КС, тем более глубинные структуры изображаются на них. Для одноранговых секущих линеаментов характерны примерно одинаковая плотность по всей территории и регулярность (эквидистантность, шаг повторяемости). Секущие линеаменты проявляются на поверхности в виде зон концентрации трещин и разрывов, в изменении морфологии горно-складчатых систем, преломлении или смещении систем покровно-складчатых структур, замыкании или виргации зон прогибаний и поднятий, погружении складок (рис. 3). Секущие линеаменты, как правило, отражают позднекайнозойскую стадию развития земной коры [4]. Молодость линеаментов подтверждается их распространением на платформах со слабо деформированным мощным плитным чехлом мезозойско-кайнозойских отложений. Несмотря на равнинный рельеф и нередко сильную антропогенную нарушенность ландшафта, линеаменты установлены на Русской плите, в Западной Сибири, равнинном Крыму и многих других платформенных регионах.

По протяженности линеаменты разделяются на трансконтинентальные, трансрегиональные, региональные и локальные. Выраженность их на КС различна. Они формируют либо узкие четкие линии, либо широкие (до первых сотен километров) пояса, состоящие из протяженных линеаментных зон. Поэтому уровень генерализации КС имеет важное значение при изучении линеаментов разных рангов и соответственно глубины заложения.



**Рис. 3.** Складчатая структура Аппалачских гор, осложненная продольными надвигами (1) и многочисленными мелкими секущими разрывами. Глубинные структуры фундамента проявлены линеаменами (показаны стрелками). КС со спутника “Лэндсат” (по: Mission to Earth: Landsat Views the World // NASA SP-360. 1976)

Линеаменты образуют достаточно выдержанную сеть из нескольких доминирующих направлений (ортогонального — широтно-меридионального и двух диагональных —  $300-120^\circ$  и  $330-150^\circ$ ), хорошо согласующихся с планетарной трещиноватостью, обусловленной ротационными напряжениями верхней оболочки Земли. Эти направления одинаково свойственны как горно-складчатым, так и смежным с ними платформенным областям. Устойчивость регматической сети линеаментов во времени объясняется тем, что энергетически более выгодна реанимация уже существовавших разломов.

## КОЛЬЦЕВЫЕ СТРУКТУРЫ

Кольцевые структуры, иначе называемые изометричными, концентрическими, центрального типа, ринг-структурами, представляют собой геологические тела разного генезиса и возраста, у которых есть центр симметрии. Выявляются они различными методами: геологической съемкой, геоморфологическими, геофизическими. На КС эти структуры выражаются спектрометрическими аномалиями и рисунками изображения и подчеркиваются нередко системами концентрических и дуговых элементов. Кольцевые структуры известны давно, но с появлением КС они стали предметом особого внимания геологов. Большой интерес к ним вызван не только

тем, что благодаря КС кольцевые структуры стали устанавливаться повсеместно, а главным образом потому, что более чем к 70% из них оказались приурочены различные виды полезных ископаемых.

Размеры кольцевых структур — от десятков километров до многих сотен и первых тысяч километров в поперечнике. Происхождение их разнообразно, а распространение на континентах примерно равномерно. Однако кольцевые структуры различных генетических типов группируются в разных по геологическому строению и истории развития регионах. Расположение их отражает латеральные структурно-вещественные неоднородности разных глубинных уровней Земли.

Общепринятая генетическая классификация включает моногенные кольцевые структуры, образованные под влиянием одного ведущего геологического процесса, и сложные полигенные кольцевые образования. Среди моногенных различаются эндогенные, экзогенные и космогенные кольцевые структуры. Эндогенные структуры могут быть образованы тектоническими движениями (тектоногенные), магматической деятельностью (магматогенные) и разнообразными эндогенными процессами, которые сопровождаются изменениями ранее существовавших горных пород и образованием новых (метаморфогенные).

### **Эндогенные кольцевые структуры**

Тектоногенные кольцевые структуры пользуются широким развитием на всех континентах в пределах плит древних и молодых платформ. Образование их связано в основном с вертикальными тектоническими движениями, поднятиями и опусканиями кристаллического фундамента. Положительные структуры представлены антеклизами — пологими крупными погребенными поднятиями фундамента, сводами, куполами. Некоторые из них обусловлены изостатическим всплыванием относительно легких гранитоидных массивов среди вмещающих пород субстрата и деформацией перекрывающих осадочных толщ, создающих дистанционный образ кольцевой структуры (Астраханский свод в Прикаспии, Бузачинский на Туранской плите, Вартовский, Ханты-Мансийский на Западно-Сибирской плите). Кольцевые структуры образуют также прорванные и невоскрывшие поднятия подсолоевого ложа — соляные купола (Прикаспийский прогиб). Отрицательные кольцевые структуры соответствуют синеклизам — пологим, почти плоским крупным погребенным впадинам фундамента, прогибам и синклиналим складкам осадочного чехла. Статистическим анализом выявлено преобладание среди макроструктур (диаметром в первые сотни километров) отрицательных форм, среди микроструктур (в первые десятки километров) — положительных и примерно равное количество положительных и отрицатель-

ных кольцевых мезоструктур диаметром от многих десятков до 150 км [2].

Еще малоизученными остаются ротационные тектонические структуры, образование которых связано с горизонтальным поворотом блоков.

Магматогенные структуры широко распространены как на платформах, так и в складчатых областях и составляют более половины всех выявленных на космических снимках кольцевых структур.

С мантийным магматизмом связано образование плутонических структур щелочно-ультраосновного состава (Бушвельдский в ЮАР, Хибинский и Ловозерские плутоны на Балтийском щите), а также малых интрузий, в том числе кимберлитовых, развитых на платформах (Сибирской, Африканской). Вулканические и вулканоплутонические структуры небольшого диаметра, приуроченные к зонам глубинных разломов, характерны для трапповых полей древних платформ, сложенных основными темными и плотными магматическими породами (Тунгусское на Сибирской платформе, Деканское в Индии). В кайнозойских областях рифтогенеза и растяжения земной коры (Восточно-Африканская рифтовая зона) развиты крупные сводовые поднятия, обрамленные стратовулканами и щитовыми вулканами.

Плутонические структуры, связанные с коровым магматизмом, развиты в складчатых поясах различного возраста (Средиземноморский, Верхояно-Чукотский, Северо- и Южно-Американский). Реже они встречаются на платформах (Коростельский на Восточно-Европейской платформе, Ахагар на Африканской). Эти структуры образованы гранитоидным плутонизмом и представлены крупными батолитами, имеющими большую вертикальную мощность, изометричными штоками, кольцевыми и коническими интрузиями. Границы их на КС могут полностью совпадать с контурами выхода плутона на поверхность или быть больше, включая породы рамы. Нередко встречаются кольцевые структуры, где интрузив совсем не вскрыт эрозией. Небольшие интрузивы обычно объединены в крупную кольцевую структуру, отражающую наличие на глубине единого магматического очага. Контрастность их на снимках зависит от глубины интрузии: чем ближе к поверхности, тем они более явно проявлены.

Вулканические и вулканоплутонические структуры, связанные с коровым магматизмом, распространены в континентальных вулканических поясах. Представлены они положительными обширными поднятиями фундамента поясов или чаще отрицательными структурами. Наиболее типичны среди них вулканические депрессии округлой или овальной формы. Внутренние части таких вулканоструктур испытывают пассивное проседание над опустошающимися магматическими очагами, а внешние

контуры их подчеркиваются системой радиальных сбросов.

Вулканотектонические структуры отличаются крупными размерами (до 400–600 км в диаметре) и являются длительно развивающимися тектоническими депрессиями, заполненными вулканическими и вулканогенно-осадочными породами.

Метаморфогенные кольцевые структуры разделяются на гнейсовые складчатые овалы и гранито-гнейсовые купола [2].

Гнейсовые складчатые овалы образованы выступами сформировавшейся в архее (4–2,5 млрд лет назад) гранитно-метаморфической оболочки земной коры или фрагментами древних платформ. Они имеют большие размеры (сотни километров) и наиболее характерны для щитов древних платформ (Алданский, Балтийский, Украинский, Канадский), но во многих случаях обнаружены и под платформенным чехлом.

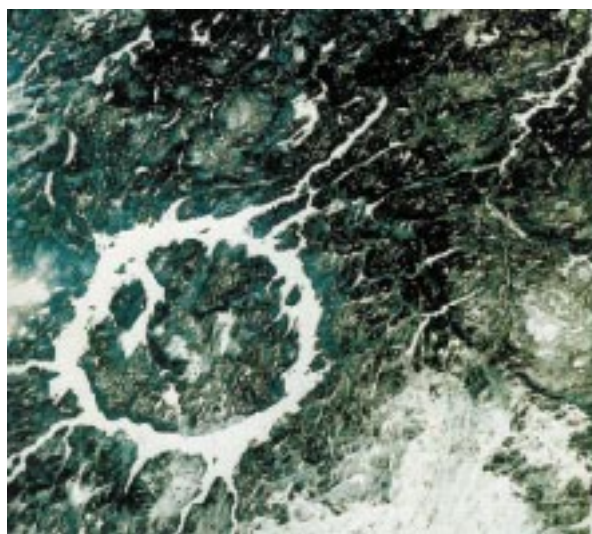
Гранито-гнейсовые и мигматитовые купола (мигматит – сложная горная порода, образовавшаяся за счет инъекции и пронизывания магмой боковых горных пород или частичного их расплавления) связаны с процессами гранитизации и магматического диапиризма – внедрения путем механического раздвигания вмещающих пород магмой. Они обычно располагаются в виде сателлитов вокруг гнейсовых складчатых овалов.

### Экзогенные кольцевые структуры

Физико-геологические процессы, протекающие на поверхности Земли, могут также приводить к образованию кольцевых структур, например: карстовых (при растворении и выщелачивании горных пород поверхностными и подземными водами), суффозионных (при выносе подземными водами тончайших частиц), термокарстовых (при вытаявании подземного льда) провалов и т.п. Они имеют обычно небольшие размеры, но нередко являются индикаторами развития структур тектонического генезиса.

### Космогенные кольцевые структуры

На космических снимках выявляются кольцевые структуры и внеземного происхождения. Это импактные структуры, образованные метеоритами (рис. 4). При их падении на Землю выделяется большое количество энергии. С огромными давлениями (до 100 ГПа) и температурой (до 2000°C) в точке соприкосновения метеорита с поверхностью (в мишене) в результате воздействия ударной волны образуются минералы высокобарических фаз кремнезема и других соединений, шоковые (или планарные) структуры минералов, импактиты (ударные брекчи, состоящие из стекла, цементирующего обломки пород и минералов), раздробленные и брекчированные породы.



**Рис. 4.** Импактная структура Маникуаган в Канаде, образовавшаяся после падения массивного метеорита. КС с “Челленджера-7”, 1985 (по: Наш дом – Земля. М.: Мир, 1988)

Космогенные структуры имеют характерные морфологические особенности: небольшую глубину по сравнению с диаметром, кольцевой, периферийный вал вокруг воронки и центральную горку. Размеры их варьируют от нескольких десятков метров до 100 км (преобладают 2–33 км), а возраст известных структур – от современности (Сихотэ-Алинь) до 2 млрд лет (Вредефорт в Южной Африке). Импактные структуры большого размера с возрастом более 10 млн лет в основном утратили морфологические очертания округлых впадин, окруженных валом выбросов. Космогенные структуры, представляющие собой глубокие части эродированных метеоритных кратеров, называются астроблемами (в переводе с греческого – звездная рана). В настоящее время известны около 200 метеоритных кратеров и астроблем, 40 из них расположены на территории Канады.

Ведущим признаком космогенного генезиса структур является наличие метеоритного вещества в значительных количествах и следов шок-метаморфизма в породах. Похожие структуры и слагающие их породы и минералы образуются при специфическом вулканизме, связанном с природными химическими газовыми взрывами. При развитии близповерхностного газонасыщенного магматического очага в ходе неоднократных резких колебаний температур и давлений, катастрофически быстрого отделения огромного объема газов и их взрывного окисления может возникнуть вся гамма эффектов ударного метаморфизма. Эндогенное происхождение таких криптовулканических структур доказывается длительностью и сложностью процессов их образования, закономерной локализацией,

присутствием пород с признаками ударного метаморфизма за пределами структур, аналогией с породами явно эндогенного происхождения [1].

### Нуклеары

Особую группу среди кольцевых структур Земли занимают сложно построенные полигенные кольцевые системы – нуклеары (нуклеус – ядро). Возникновение их связывается с нуклеарной стадией геологического развития Земли, сменившей лунную 4 млрд лет назад. Предполагается, что первоначально это были громадные кольцевые бассейны типа лунных или марсианских морей, на месте которых в процессе сложного осадконакопления и последующей гранитизации и метаморфизма возникли первые ядра континентальной коры материков [2]. В настоящее время в пределах древних платформ выделено 33 нуклеара. Самый крупный из них – Северо-Американский имеет диаметр по максимальной оси 3800 км. Несколько уступают ему в размерах Западно-Африканский (3600 км) и Амазонский (3200 км). Размеры самых маленьких нуклеаров (Оленекский, Прибалтийский) – 500 км. Некоторые нуклеары оказались разорванными в процессе перемещения литосферных плит (например, Южно- и Центральнo-Африканский, западные части которых расположены в Южной Америке). Нуклеарные структуры оказали влияние на формирование древних континентальных блоков на протяжении всего фанерозоя, а некоторые определяют современные границы платформ. Внутри нуклеаров расположены архейские и протерозойские метаморфические, магматические и вулканогенно-осадочные комплексы и более молодые отложения фанерозоя, а по периферии некоторые из них оконтурены протерозойскими мобильными поясами, иногда рифтовыми системами или крупными дуговыми разломами (например, Танзанийский нуклеар в Африке с запада оконтурен Восточно-Африканской рифтовой системой).

### ПЛОЩАДНЫЕ ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ОБЪЕКТЫ

Площадные объекты на космических снимках имеют сложные очертания и представлены складчатыми и блоковыми тектоническими деформациями, структурно-вещественными комплексами горных пород, генетическими типами рыхлых отложений.

На космических снимках прежде и лучше всего отражены основные формы современного рельефа, которые определены в основных своих чертах позднекайнозойской (неотектонической) структурой, сформированной эндогенными процессами за последние 35–40 млн лет. Поэтому на снимках континентального уровня генерализации выделяются крупные латеральные неоднородности земной коры и литосферы с различной интенсивностью и направленностью (поднятия/опускания) новейших тектонических движений, границы которых совпа-

дают с линеаментами. В орогенических областях такие площадные объекты представлены антиклинальными и синклинальными мегаскладками основания и мезозойско-кайнозойскими складками чехла (рис. 5), горстами, грабенами, впадинами разной морфологии, выраженными в рельефе. В платформенных областях, где фундамент, за исключением щитов, перекрыт чехлом осадочных отложений, а амплитуды тектонических движений и деформаций на порядок ниже, геологические структуры устанавливаются по косвенным, ландшафтно-индикационным признакам. Основными индикаторами их являются рельеф (характер расчлененности), экзогенные процессы и растительность. Денудационному рельефу, как правило, в структуре фундамента соответствуют выступы, горсты, а пониженным участкам с аккумулятивным рельефом – впадины, грабены.

На космических снимках более крупного масштаба и пространственного разрешения дешифрируются геологические тела, образованные стратифицированными толщами относительно выдержанного вещественного состава и однотипного характера дислоцированности (вещественно-структурные комплексы). Детальность их расчленения зависит от геолого-структурных и ландшафтно-климатических особенностей района. Наиболее высокая она в геологически открытых районах с литоморфным рельефом, где на современный денудационный срез выведены коренные породы разного возраста, и с



**Рис. 5.** Положительные (1) и отрицательные (2) складки мезозойско-кайнозойского покрова, выраженные в рельефе соответственно горными грядами и впадинами. Темные пятна – соляные купола (3). Юго-западная часть Ирана, горы Загрос. КС с “Челленджера-6”, 1984 (по: Наш дом – Земля. М.: Мир, 1988)

различными противоденудационными свойствами, нашедшими отражение в рельефе: крепкие породы образуют гряды, а менее прочные – межрядовые понижения (рис. 2 и 5). В геологически закрытых районах плит, где на поверхности на больших площадях распространены четвертичные отложения, возможно выделение генетических типов четвертичных отложений (флювиальных, ледниковых, делювиальных). Информативность космических снимков разная в регионах с различным геологическим и геоморфологическим строением.

КС нашли широкое применение при геологических исследованиях, прогнозировании и поисках месторождений полезных ископаемых, изучении сейсмоопасных зон и активности экзогенных процессов (эрозионных, абразионных, карстово-суффозионных, склоновых обвально-оползневых), инженерно-геологических изысканиях, структурно-геоморфологических и неотектонических исследованиях, изучении шельфа, мониторинге геологической среды, в геоэкологии. Применению космической информации в геологии посвящено много работ, в том числе [6, 7].

## ЛИТЕРАТУРА

1. Ваганов В.И., Иванкин П.Ф., Кропоткин П.Н. и др. Взрывные кольцевые структуры щитов и платформ. М.: Наука, 1985. 200 с.
2. Брюханов В.Н., Буш В.А., Глуховский М.З. и др. Кольцевые структуры континентов Земли. М.: Недра, 1987. 184 с.
3. Космогеология СССР. М.: Недра, 1987. 240 с.
4. Космическая информация в геологии. М.: Наука, 1983. 536 с.
5. Кронберг П. Дистанционное изучение Земли: Пер. с нем. М.: Мир, 1988. 343 с.
6. Михайлов А.Е., Корчуганова Н.И., Баранов Ю.Б. Дистанционные методы в геологии. М.: Недра, 1993. 224 с.
7. Рябухин А.Г., Макарова Н.В., Макаров В.И. Космические методы в геологии. М.: Изд-во МГУ, 1988. 146 с.

\* \* \*

Нелля Иосифовна Корчуганова, кандидат геолого-минералогических наук, доцент кафедры общей геологии и геологического картирования Московской государственной геологоразведочной академии. Область научных интересов: неотектоника и современная геодинамика, дистанционные методы поисков полезных ископаемых, структурная геоморфология. Автор более 60 научных статей, пяти учебников и учебных пособий.