

# Использование материалов аэрокосмических съемок для изучения земной коры

Ю. И. ФИВЕНСКИЙ

Одно из важнейших достижений геологических исследований последней четверти XX века состоит в обнаружении и всестороннем изучении кольцевых структур Земли [1-14] как неизменных и важнейших элементов земной коры континентального типа. Повышенный интерес к этим структурным формам объясняется выявленной их рудоконтролирующей ролью, что вывело их на второе по значимости место после линеаментов в области металлогенических исследований [2, 8].

Кольцевые структуры в современном понимании являются внешним выражением форм центрального типа (по генезису: тектонических, магматических, метаморфических и др.) на поверхности Земли. Эти геологические тела имеют форму конусов, вершины которых (энергогенерирующие центры) разнесены по глубине и дают в проекции на горизонтальную плоскость концентрические окружности в поле силы тяжести Земли.

На территориях, закрытых чехлом рыхлых отложений, геологические кольцевые структуры проявляются либо геоморфологически в виде форм рельефа (экспонированные морфоструктуры), либо в виде безградиентных линеаментов, представленных системами водотоков, растительных сообществ и ландшафтных категорий. В частности последнее обстоятельство часто используют для объяснения эффекта «просвечивания» погребенных (криптоморфных) геологических структур, не выраженных в современных формах рельефа [2]. Указанные дешифровочные признаки используются для идентификации геологических кольцевых структур на основе морфоструктурного анализа с привлечением разнородных картографических материалов, разновременных аэрокосмических снимков в разных диапазонах спектра электромагнитного излучения. За этим следуют весьма дорогостоящие полевые геологические, геоморфологи-

ческие и геофизические проверки результатов дешифрирования (электроразведка, магниторазведка, гравиразведка, эманационная съемка и т. п.).

Эффект «просвечивания» земной коры также объясняют тектонически обусловленной трещиноватостью ее верхних этажей, которая отражается на дневной поверхности в ландшафтах «...благодаря реакции грунтовых и подпочвенных вод на физико-химические условия, а также благодаря приспособившимся к этим условиям почвам и растительности» [8].

Геологические кольцевые структуры по размеру варьируют от сотен метров до нескольких тысяч километров. По этому признаку их разделяют на классы. Класс наиболее низкого известного ранга составляют «миниморфоструктуры» и частично «мезоморфоструктуры» [2], или «микроструктуры» (по классификации МГУ) [14], с размерами от сотен метров до 10–15 км. Характерной особенностью кольцевых структур геологического толка является дискретность их размера, подчиняющаяся закономерности изменяться в  $\sqrt{2}$  раза [13], что связывают с различиями их генетических групп, обусловленных тектоническими, тектономагматическими или чисто магматическими процессами. Не исключают также возможность метеоритного происхождения значительной части этих структур [3].

Плотность рисунка кольцевых структур, порожденных геологическими телами центрального типа, относительно невысока. Поэтому каждой из найденных структур нередко присваивают имена или номера. Например, на территории Курского аэрокосмического полигона ИГ РАН площадью 15 000 км<sup>2</sup> по аэро- и космическим снимкам отдешифрированы и идентифицированы полевыми обследованиями 45 кольцевых структур с диаметром от 4 до 60 км [12]. Каждой из них присвоено имя. При этом отмечено количественное преобладание форм малого и среднего размеров, которым свойственен упрощенный плановый рисунок (каркас) нередко в виде полного кольца или овала. Такие простые формы, накладываясь на кольца более высокого по размеру ранга, усложняют их рисунок.

Возможности визуального дешифрирования кольцевых структур по аэрокос-

мическим снимкам [10, 11] ограничены рядом факторов субъективного и объективного характера, что заставляет искать пути решения этой трудоемкой задачи, в первую очередь, с помощью цифровой вычислительной техники по данным топографических карт на основе анализа рельефа местности [7]. Однако и топографические карты, являясь продуктом человеческого осмысления картин внешнего мира, не лишены субъективизма, который вносится на этапе географического редактирования результатов полевых (либо стереофотограмметрических) наблюдений рельефа местности. Этим обстоятельством можно объяснить, что гидрографическая сеть, геодезически обеспеченная и в наименьшей степени редактируемая, нередко выступает в качестве главного дешифровочного признака геологических кольцевых структур [12].

Нельзя обойти вниманием еще один факт: в качестве неперменного атрибута структур центрального типа выступают радиальные составляющие их каркаса, которые ассоциируют с нарушениями сплошности земной коры (трещины, разломы). Они обычно расходятся от центра структуры и образуют узлы сочленения и пересечения линейных тектонических элементов [9], к которым чаще всего приурочены месторождения различных полезных ископаемых.

В географии кольцевые структуры как объект изучения абсолютно не известны, например: в «Четырех язычном энциклопедическом словаре терминов по физической географии» [13] приводится всего лишь один созвучный термин – «кольцевые дюны».

При специализированном компьютерном анализе неоднородности структуры изображения почвенно-растительного покрова на крупномасштабных аэрофотоснимках (1:6 000–1:15 000) обнаруживаются многочисленные кольцевые и линейные природные образования, внешне похожие на геологические кольцевые структуры и линеаменты. Эти кольцевые структуры не вписываются в рамки геологических классификаций и потому названы малыми кольцевыми структурами (МКС). Реальность существования МКС подтверждена полевыми обследованиями на территории Сатинского полигона

Географического факультета МГУ (Калужская обл.) и составляет предмет научного открытия [16] с формулой: «Экспериментально выявлены неизвестные ранее множественные, со сплошным покрытием земной поверхности, кольцевые природные образования малого размера (единицы – сотни метров), создаваемые естественным излучением планеты и проявляющиеся в рыхлых отложениях земной коры на фоне сейсмоакустических волн».

Сущность специализированной адаптивной структурометрической обработки снимков, проблемы создания алгоритмов которой и пути их реализации изложены в работах [17, 18], технологически состоит в следующем:

**1 этап.** *Оценка интегрального качества исходного съемочного материала.* На основании этой оценки оптимизируются параметры цифрования (для фотоснимков) и выполняются предварительные градационная и структурометрическая коррекции поля исходного изображения (рис. 1 а) с целью максимального использования динамического диапазона яркостей и снижения шумов исходного изображения, вызванных пространственной дискретизацией изображения.

**2 этап.** *Модифицированное преобразование Фурье [17].* В результате этого пре-

образования получается структурное полутоновое изображение (рис. 1 б), где относительно темными тонами кодированы области локальных минимумов контраста гармонических составляющих модифицированного спектра пространственных частот изображения.

В известных приемах статистического анализа [19] используется окно конечного размера (например,  $8 \times 8$  пкс) и, следовательно, пропорционально ему снижается информативность структурного результирующего изображения таким образом, что в первую очередь пропадают малые и малоконтрастные детали. Однако приемы статистико-детерминистического анализа, которые сочетали бы в себе возможность получения надежных статистик с сохранением детальности исходного изображения, отсутствуют. Решение этой, на первый взгляд неразрешимой, задачи позволило создать не имеющие отечественных и зарубежных аналогов алгоритмы адаптивной структурометрической обработки, сохраняющие детальность исходного изображения в пределах 1-2 пкс.

Само по себе структурное изображение уже облегчает, ускоряет и делает объективной визуальную идентификацию МКС. Однако глаз все же не способен в ограниченный промежуток времени обо-

зреть полную совокупность МКС. Поэтому дальнейшие этапы компьютерной обработки изображения направлены на достижение максимально возможной полноты дешифрирования МКС, которая определяется разрешающей способностью снимка.

**3 этап.** *Бинаризация структурного изображения* (например, с помощью известного алгоритма Эванса [20]), выделяющего его фотометрические участки с отрицательной Гауссовой кривизной. В результате бинаризации получают кольцевой каркас местности (рис. 1 в).

Кольцевой каркас весьма сложен, внешне он напоминает интерференционную картину, образованную как одиночными кольцами, так и системами МКС, и является доминантной

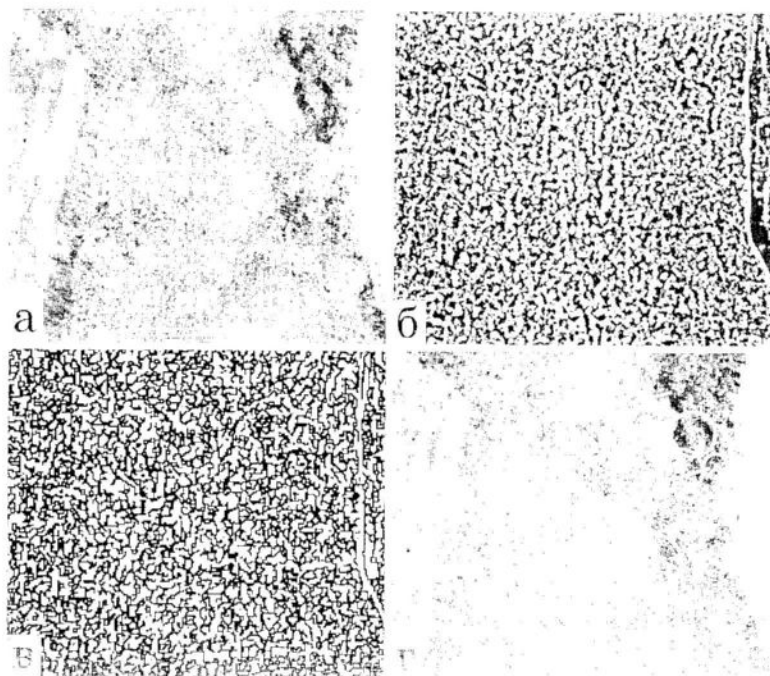


Рис. 1. Увеличенные технологические этапы структурометрического анализа изображений на аэрокосмических снимках



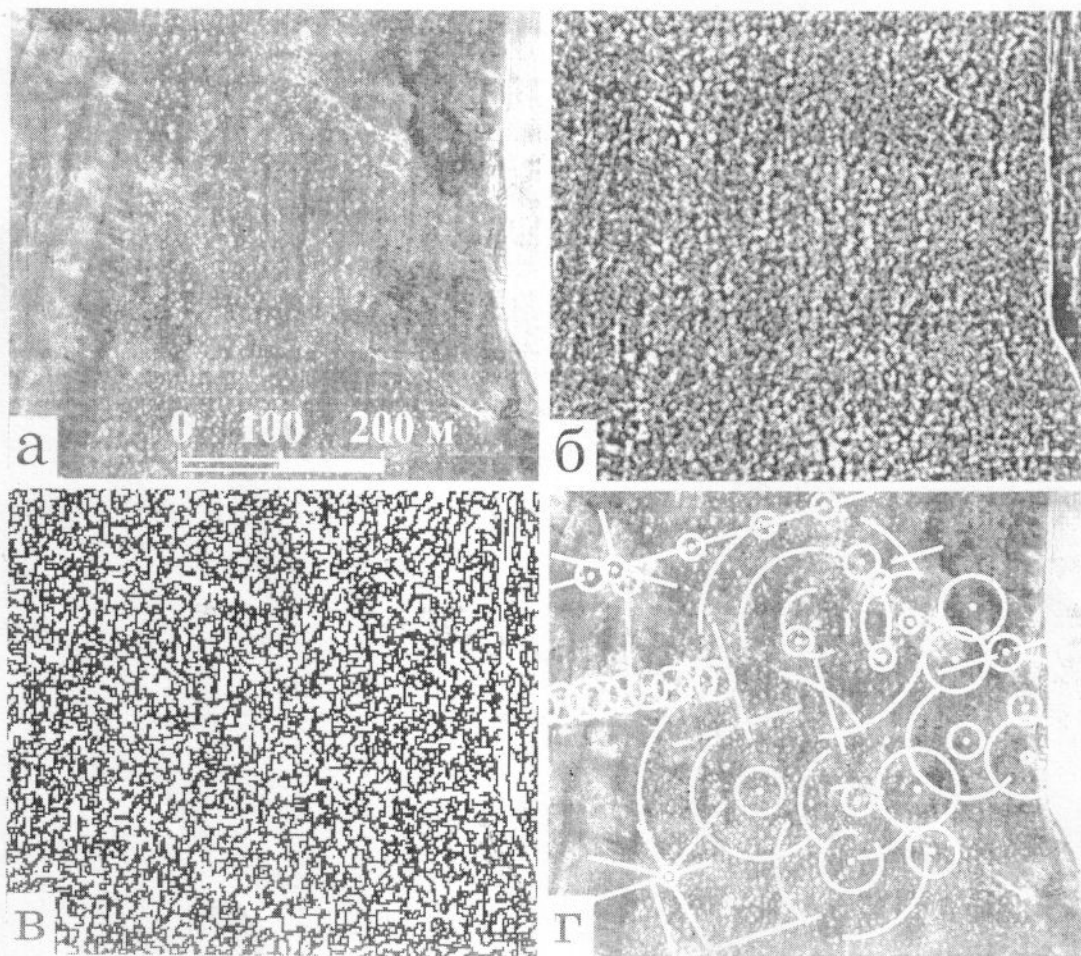


Рис. 1. Укрупненные технологические этапы структурометрического анализа изображения на аэрокосмических снимках

(«очищенной» от природных и антропогенных шумов) формой представления изображения местности на аэрокосмическом снимке.

**4 этап. Экстракция МКС с помощью шаблона,** представляющего собой массив колец с изменяющимся на 1 пкс радиусом (согласованная фильтрация изображения). На рис. 1 г показаны некоторые примеры МКС и линейных структур, выделенных такой фильтрацией кольцевого каркаса местности в интерактивном режиме.

Изложенная методика позволила выявить по аэрокосмическим снимкам четыре основных типа МКС на рыхлой оболочке Земли (рис. 2 а) и исследовать феноменологические особенности их рисунка на горизонтальной поверхности.

I тип – однокольцевые формы (как правило, наименьшего размера) с хорошо выраженным центральным пятном. Эти МКС чаще всего обнаруживаются визуально непосредственно на исходном изображении.

II тип – концентрические формы, радиус колец которых возрастает в порядке арифметической прогрессии, редко обнаруживаемые на исходном снимке только визуально.

III тип – одиночные МКС (как правило, наибольшего размера) со сложно представленной (также кольцевой) центральной областью (практически, не дешифрируются визуально на исходном снимке).

IV тип – концентрические формы с возрастающим в порядке геометрической прогрессии радиусом колец по знаменателю разных значений второй степени (практически, не дешифрируются визуально на исходном снимке).

В отличие от геологических структур центрального типа МКС:

характеризуют состояние рыхлой (наиболее трансформируемой эндогенными и экзогенными процессами) оболочки Земли;

плохо выражены в формах рельефа местности, что не позволяет обнаружить их традиционными морфоструктурными методами;

не имеют закономерности дискретно изменять свои размеры в  $\sqrt{2}$  раз;

можно обнаружить до 6–10 тыс. МКС разного типа, которые имеют сезонную и многолетнюю стабильность положения

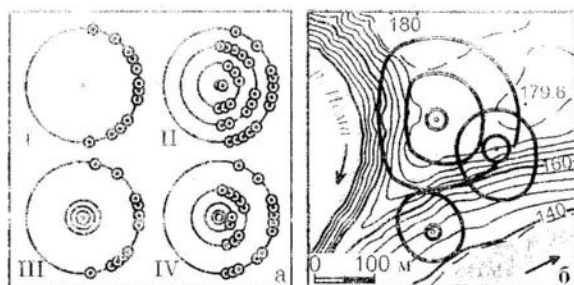


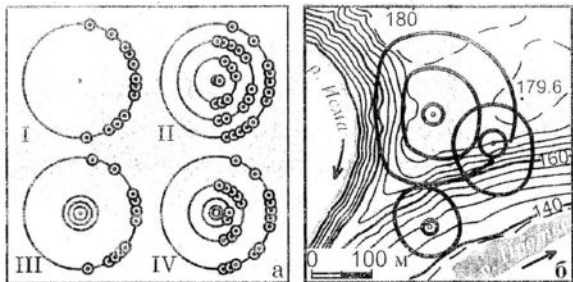
Рис. 2. а) Типы МКС б) Искращения формы МКС за рельеф местности

на местности и вне зависимости от антропогенного воздействия возобновляются на местах старых вырубок лесов, репродуцируются на снежном покрове.

Идеальные полно кольцевые структуры, практически, не встречаются в природе из-за всегда присутствующих одиночных колец или систем МКС младшего ранга, осложняющих рисунок полно кольцевых структур (правые части рис. 2 а). В рисунок форм МКС свои коррективы вносит и рельеф местности (рис. 2 б).

Автоматизированный анализ кольцевых каркасов местности разных регионов Земли выявляет метаморфичность их зрительного восприятия. В зависимости от профессиональной ориентации и психологического состояния наблюдатель по-разному оценивает рисунок кольцевых каркасов. Компьютерное моделирование этого процесса показывает, что любая линейная цепочка МКС (например, I типа) должна порождать как минимум три линеамента (рис. 3 а). С другой стороны, последовательные повороты сетки квадратов, имитирующие угловой шаг  $15^\circ$  заложения разломов земной коры континентального типа [21], приводят к образованию МКС I типа (рис. 3 б).

Установлено многообразие видов проявления МКС на местности под действием различных экзогенных факторов (био-, зоо-, крио-, гидро-, антропогенные и т. п.). Например, МКС хорошо читаются на днищах неглубоких водоемов по характеру расселения донной растительности, хорошо возобновляются на местах старых вырубок лесов, ежегодно репродуцируются не снежном покрове, что наблюдается на зимних радиолокационных снимках в диапазоне излучения 4 см, которые регистрируют степень шероховатости поверхности. По данным



**Рис. 2. а) Типы МКС б) Искращения формы МКС за рельеф местности**

авиамодельных съемок Сатинского полигона МГУ, от снежного покрова в период весеннего снеготаяния в первую очередь освобождаются участки местности между кольцами (рис. 4). Последние рудименты снежного покрова наблюдаются на участках МКС подобно тому, как тают следы укатанных лыжных трасс. В первые дни после полного схода снега изображение пашен «расцветает» узором элементов кольцевого каркаса более темного тона из-за повышенной насыщенности почвы влагой.

Аэросъемочная регистрация этапов снегонакопления и снеготаяния напрямую указывает на сейсмоакустическую природу МКС, а именно: действие естественного излучения Земли в сравнительно высокочастотных сейсмическом и акустическом диапазонах частот [22] микросейсм, отличающихся незначительностью энергии генерируемых упругих колебаний. При спокойной сейсмической обстановке на поверхности Земли микросейсм образуют более или менее непрерывный фон с амплитудой до

10 мкм и периодом 5–10 с. Такие энергетически малые механические вибрации способны перемещать только небольшие по массе частицы рыхлого слоя (снежинки), изменяя их взаимное положение в слое. В гравитационном поле планеты под действием силы тяжести это приводит к накапливаемому со временем локальному изменению агрегатного состояния вещества рыхлого слоя (локальные уплотнения и сопряженные с ними изменения степени шероховатости поверхности снежного покрова).

Особый интерес вызывает вопрос об источниках зарождения и этапах жизни МКС. Регулярные аэросъемки территории Сатинского полигона Географического факультета МГУ, проводившиеся с 1953 по 1990-е годы с интервалом 3–4 года, не дали значимого прямого ответа на этот вопрос. Они только позволили сделать вывод, что МКС, в общем, сохраняют свое пространственное положение (по крайней мере, в течение 40 лет). Выяснилось, что МКС по-разному проявляются на разносезонных снимках, и это

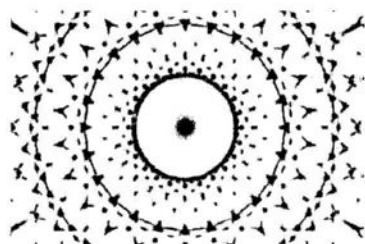
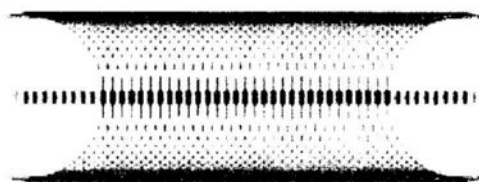


Рис. 3. Метаморфозы зрительного восприятия элементов кольцевого каркаса местности: а – линейные структуры (как минимум 3), порождаемые линейными или дугообразными цепочками кольцевых структур; б – кольцевые структуры, порождаемые серией дискретных разворотов сетки квадратов с шагом 15° в соответствии с Дж. Муди и М. Дж. Хилл («Сдвиговая тектоника», 1960)

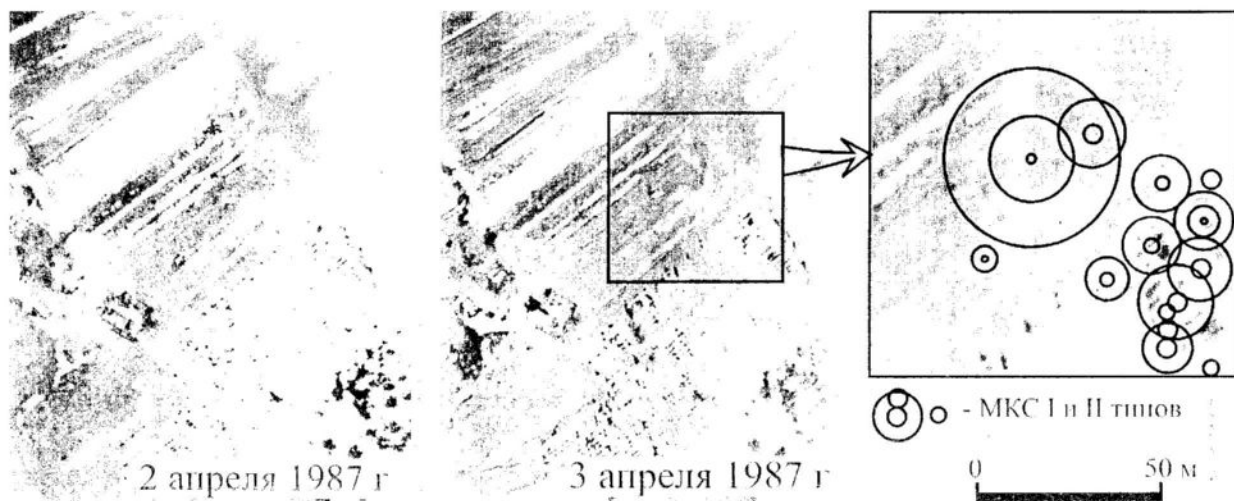
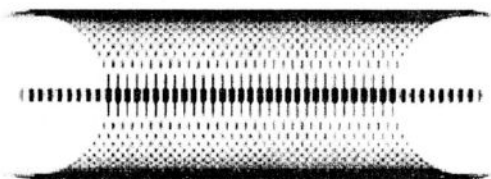


Рис. 4. Суточная динамика формирования по материалам авиамодельной фотосъемки (2–3 апреля 1982 г.) на территории Сатинского полигона Географического факультета МГУ

а



б

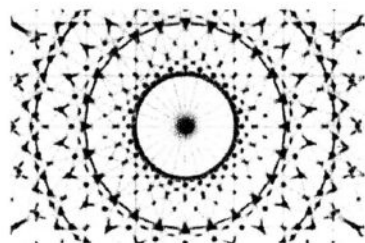
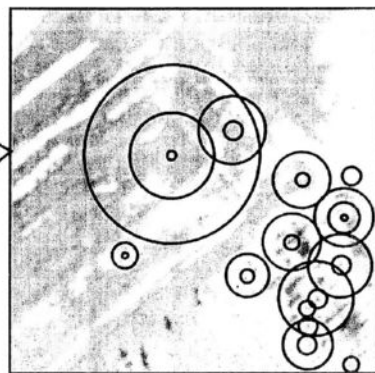
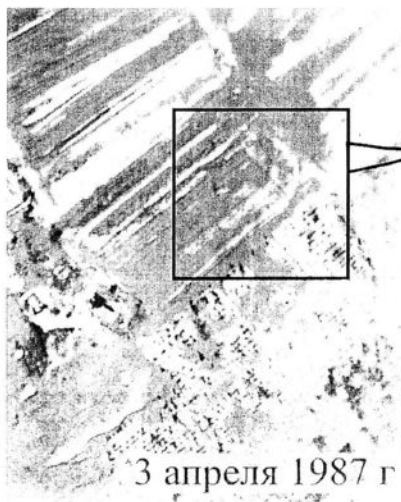


Рис. 3. Метаморфозы зрительного восприятия элементов кольцевого каркаса местности: а – линейные структуры (как минимум 3), порождаемые линейными или дугообразными цепочками кольцевых структур; б – кольцевые структуры, порождаемые серией дискретных разворотов сетки квадратов с шагом  $15^\circ$  в соответствии с Дж. Муди и М. Дж. Хилл («Сдвиговая тектоника», 1960)



⊙ - MKC I и II типов

0 50 м

Рис. 4. Суточная динамика снеготаяния по материалам авиамодельной фотосъемки (2–3 апреля 1982 г.) на территории Саводского полигона Географического факультета МГУ



не позволяет уверенно идентифицировать особенности их развития во времени. Основная причина состоит в том, что оригинальные материалы государственных и ведомственных аэросъемок, выполненных до 1950 гг. (аэрофильмы на горючей нитрооснове) к настоящему времени уже уничтожены без надлежащего их архивирования.

В этих условиях поиск доказательных материалов на глубину более 50 лет представляется нереальным, поскольку промежуток времени образования МКС по приблизительным подсчетам может составлять несколько веков. Однако подобная задача все-таки может быть решена, но при наличии научно обоснованной стратегии поиска необходимого съемочного материала. Такая стратегия была разработана благодаря сейсмоакустическому объяснению происхождения МКС с помощью наблюдений за динамикой элементарных процессов снегонакопления и снеготаяния. Основные положения стратегии состоят в следующем.

Слой свежевывавшего снега можно представлять в качестве приемника сейсмоакустического (СА) излучения Земли, регистрирующего его особенности наподобие фотографического слоя. Сенситометрические свойства такого слоя, накапливающего энергию СА излучения, должны удовлетворять законам Вебера-Фехнера и Шварцшильдера.

В фотографии уровень действия лучистого потока (количество освещения) на фотографический слой оценивают как экспозицию  $H_\phi$  (в лкс-сек.):

$$H_\phi = E_\phi t,$$

где  $H_\phi$  – экспозиция;  $E_\phi$  – освещенность;  $t$  – время действия светового потока.

По аналогии в сейсмоакустике следует оценивать уровень воздействия естественного СА излучения на элементарный рыхлый слой следующим образом (в Вт м<sup>2</sup> с):

$$H_{CA} = E_{CA} t,$$

где  $H_{CA}$  – СА экспозиция;  $E_{CA}$  – облученность СА приемника;  $t$  – время облучения.

Подобный механизм СА чувствительности должен работать в присутствии на планете какой-либо жидкости (например, воды). В жидких средах всегда содержатся взвешенные микроскопичес-

кие частицы твердого вещества, взаимодействие которых регулируется всеми геофизическими полями Земли (электрическое, магнитное и др.), участвующими в процессе осадкообразования. Каждое поле специфично по своему действию на осаждаемое вещество, обладающее конкретными физико-химическими характеристиками. К сожалению, эта специфика недостаточно изучена, и поэтому пока остается единственный путь – регистрировать на поверхности Земли результаты проявления лишь совокупного действия этих полей.

Можно сократить необходимый временной интервал аэросъемочного наблюдения динамики развития МКС, проводя это наблюдение на территориях с повышенной активностью естественных СА полей. К таким территориям относятся также территории, подвергшиеся локальным катаклизмам Земли извне. Подобный катаклизм произошел 30 июня 1908 г. в результате падения Тунгусского метеорита. К счастью, материалы аэрофотосъемки территории Тунгусской катастрофы, выполненной для обеспечения 4-й экспедиции Л. А. Кулика (июнь-июль 1938 г.), сохранились в виде фотоотпечатков, сделанных с оригинальных аэрофильмов масштаба 1:4 700, уничтоженных в 1970-е гг. По инициативе ГосНИИ АС на этой же территории в 1999 г. была произведена повторная аэрофотосъемка.

На рис. 5 а показана МКС II-го типа на заболоченной пойме среднего течения р. Чугрим в 6 км южнее эпицентров взрыва Тунгусского метеорита, которая визуальнo дешифрируется на снимке 1999 г. по характеру расселения древесной растительности на болоте. До взрыва метеорита структура не существовала, о чем можно судить по снимку 1938 г. (рис. 5 б), на котором зарегистрировано только одно (центральное) кольцо МКС.

Таким образом, в «жизни» МКС можно выделить два кардинальных этапа развития: латентный (скрытый) и видимый периоды. Наиболее вероятный сценарий процесса образования МКС состоит в следующем.

В латентный период (в данном случае 25–30 лет) под действием мощного взрыва метеорита происходит начальная перестройка агрегатного состояния рыхло-



Рис. 5. Отображение динамики формирования одиночной системы МКС II типа (центр системы показан стрелкой) вблизи южного эпицентра взрыва Тунгусского метеорита (30.06.1908 г.) на разновременных снимках: а) современное состояние системы (аэросъемка ГосНИИ АС, 1999 г.); б) начало стадии биогенного проявления центрального кольца системы (аэросъемка Главсевморпуть, июнь-июль 1938 г.)

го вещества, после которой образуются своеобразные центры чувствительности, укрупняющиеся со временем в поле СА излучения Земли. Механическая перестройка сопровождается изменениями геохимического состава почв на микроэлементном уровне, которые образуют центры природного (био-, зоогенного и пр.) проявления.

Период видимого развития МКС характеризуется постепенным увеличением числа внешних концентроров. На рис. 5 а уверенно читаются образовавшиеся за 61 год два дополнительных концентрора и третий концентр (по сравнению с рис. 5 б, находящийся в начале своего проявления). Таким образом, скорость образования МКС на земной поверхности можно оценить значением - 1 кольцо за 25–30 лет. Думается, что именно по этой причине за 40-летний период аэросъемочных наблюдений на территории Сатинского полигона МГУ не было выявлено изменений в элементах МКС.

Малые кольцевые структуры существуют не только на Земле. Например, на рисунке 6 показаны результаты структурометрического анализа фрагмента мозаичной цифровой фотокарты Марса, составленной по материалам съемок с космических аппаратов VIKING 1 и VIKING 2 (США, 1975 г.) с разрешением 1 км. На структурном изображении (рис. 6 б) обнаруживаются МКС тех же четырех типов (рис. 6 в), однако они имеют более значительные размеры (десятки километров) по сравнению с малыми

размерами, которые заявлены в Открытии. Но здесь нет противоречия, поскольку рыхлые отложения коры Марса являются лишь верхним разделом образованного в результате литогенеза многослойного «сэндвича» осадочных пород, который покоится на кристаллическом основании. Каждый литифицированный слой этой системы некогда находился в рыхлой фазе, и потому в нем должны были образовываться ныне погребенные МКС, которые определенным образом наследуются вышележащими слоями. Естественно, что при разрешении 1 км снимков, которые были получены с аппаратов VIKING, МКС рыхлого слоя Марса не могут быть зафиксированы.

В любом случае наличие МКС на Марсе, обнаруженных по материалам съемки с аппаратов VIKING, свидетельствует о прямом родстве истории развития обеих планет (Марса и Земли) и позволили уже в 1996 г. сделать следующие важные выводы:

1. На Марсе присутствует вода (в любом состоянии – твердом, жидком или газообразном), которая является одной из главных компонент процесса образования осадочных пород.

2. Наличие МКС IV типа по земным меркам свидетельствует о проявлениях магматизма на Марсе. В частности, кольцевые структуры этого типа индицируют в земной коре интрузийные тела (трубки, дайки).

Эти выводы подтверждаются результатами съемок Марса, выполненных с кос-

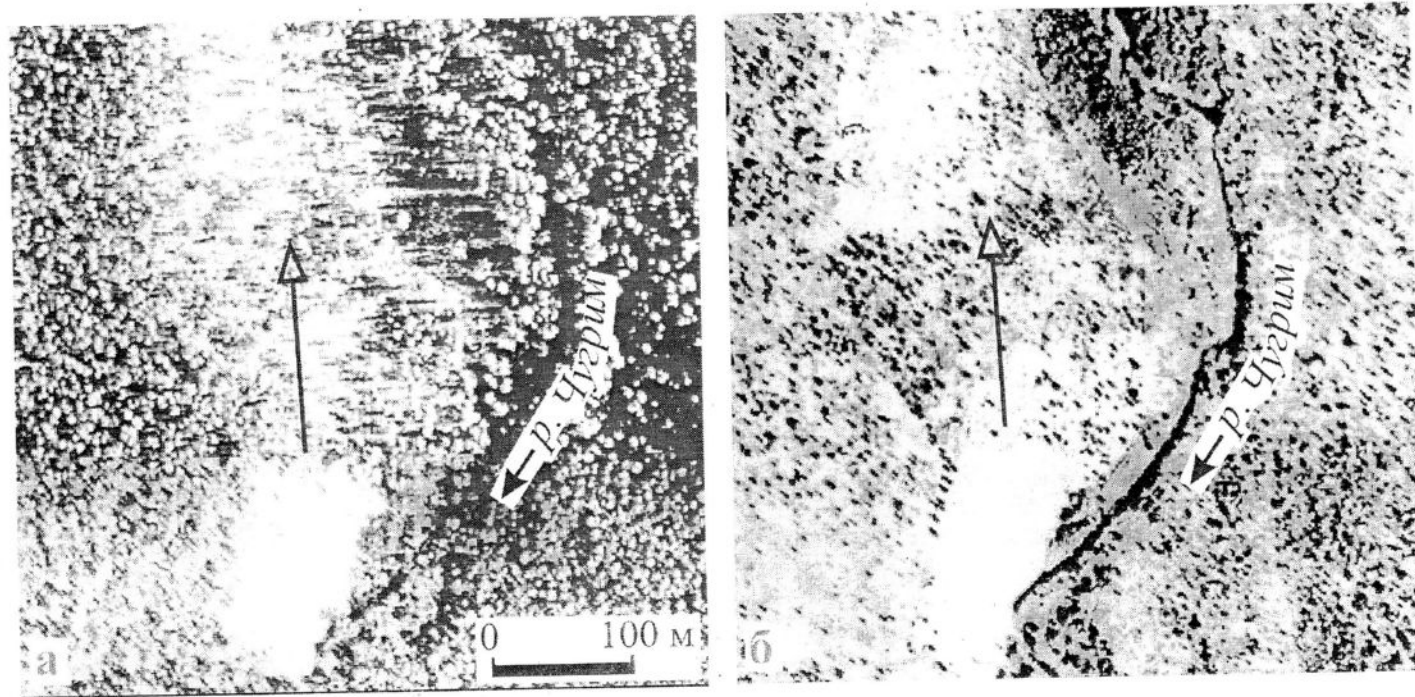


Рис. 5. Отображение динамики формирования одиночной системы МКС II типа (центр системы показан стрелкой) вблизи южного эпицентра взрыва Тунгусского метеорита (30.06.1908 г.) на разновременных снимках: а) современное состояние системы (аэросъемка ГосНИИ АС, 1999 г.); б) начало стадии биогенного проявления центрального кольца системы (аэросъемка Главсевморпуть, июнь-июль 1938 г.)



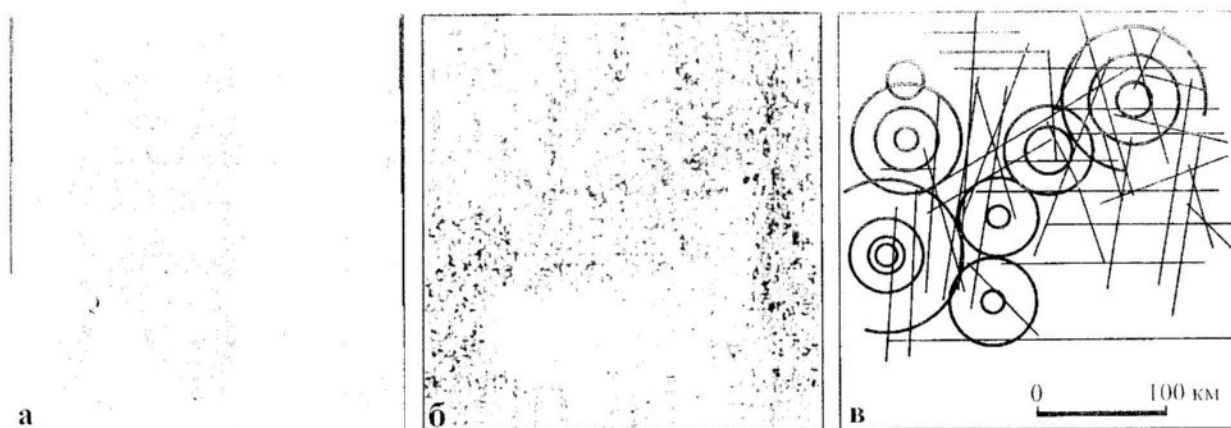


Рис. 6. МКС на поверхности планеты Марс – по материалам съемок с комических аппаратов VIKING 1 и VIKING 2: а) фрагмент мозаичной фотокарты Марса в 6-градусной зоне гауссовой проекции; б) структурное изображение фрагмента (а); в) фрагментарно визуально дешифрируемые по структурному изображению МКС

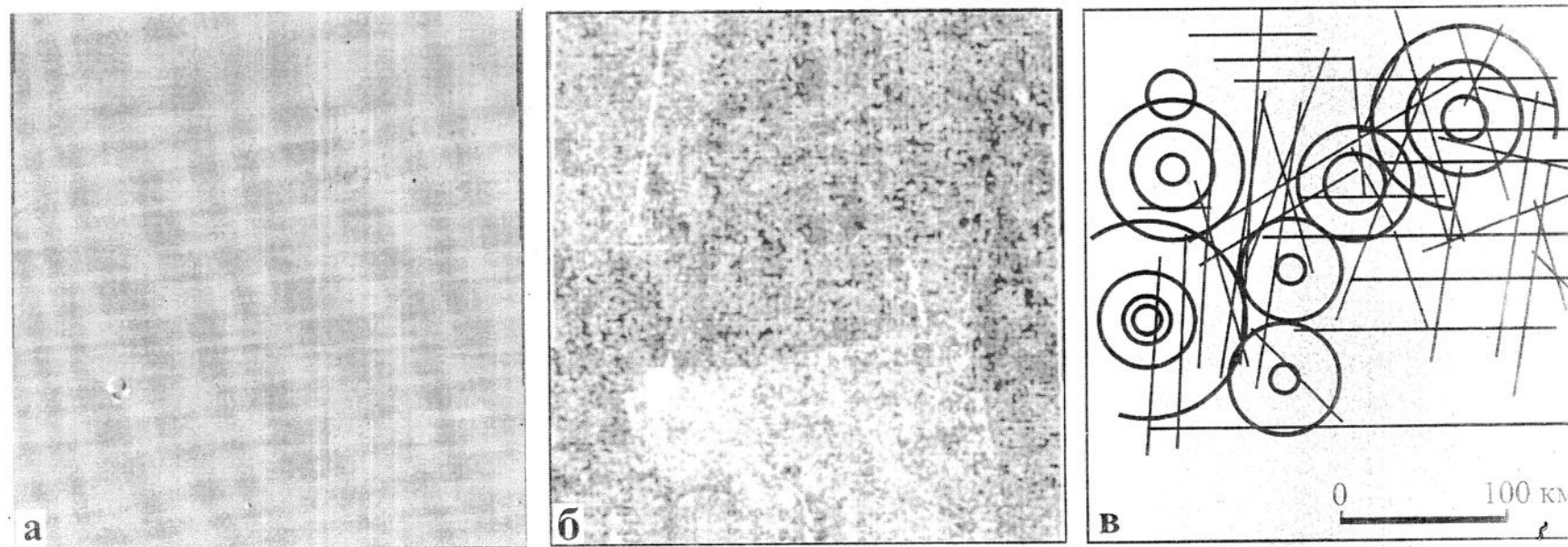
мического аппарата МАРС-ЭКСПРЕСС, и миссиями марсоходов SPIRIT и OPPORTUNITI (США, 2004–2005 гг.).

Открытие класса МКС на рыхлой оболочке Земли создает благоприятные перспективы разработки экологически «чистых» (по материалам аэрокосмических съемок) методов решения фундаментальных и прикладных задач в различных областях наук о Земле, сокращая до минимума расходы на непроизводительные полевые работы путем адресного сосредоточения усилий. По своей сути открытие МКС вскрывает неизвестный ранее и потому не использованный информационный пласт аэрокосмических снимков и заставляет более бережно относиться к архивным, не исчерпавшим своих возможностей, материалам аэрокосмических съемок.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Карта морфоструктур центрального типа территории СССР, м-б 1:10 000 000. Под ред. В. В. Соловьева. Составители: В. М. Рыжкова, В. В. Соловьев. – Л.: Мин. геологии СССР, ВСЕГЕИ, 1977.
2. Соловьев В. В. Структуры центрального типа территории СССР по данным геолого-геоморфологического анализа. Объяснительная записка к Карте морфоструктур центрального типа территории СССР м-ба 1:10 000 000. – Л.: Мин. геологии СССР, ВСЕГЕИ. – 1978. – 111 с.
3. Зейлик Б. С. О происхождении дугообразных и кольцевых структур на Земле и других планетах (ударно-взрывная тектоника). – М.: Геоинформ. – 1978. – 58 с.
4. Мошинская И. П. Кольцевые магнитные аномалии Русской плиты и их связь с кольцевыми магматическими структурами // Прикладная геофизика, вып. 90. – М.: Недра. – 1978. – С. 135–146.
5. Полетаев А. И. Кольцевые структуры Земли (по сейсмическим данным) // Известия ВУЗов. Геология и разведка. – 1983. – № 8. – С. 159–161.
6. Брюханов В. А., Буш В. А., Глуховский М. З., Зверев А. Е., Кац Я. Г., Макарова Н. В., Сулиди-Кондратьев Е. Д. Кольцевые структуры континентов Земли. – М.: Недра. – 1987. – 186 с.
7. Флоринский И. В. Визуализация линейментов и структур центрального типа: количественные топографические подходы. – Пушкино: ПНЦ РАН. – 1992. – 47 с.
8. Волчанская И. К., Сапожникова Е. Н. Анализ рельефа при поисках месторождений полезных ископаемых. – М.: Недра. – 1990. – 159 с.
9. Полетаев А. И. Узловые структуры земной коры // Общ и регион. геология, геология морей и океанов; геол. картирование: Обзор МГП «Геоинформмарк». – М.: МГП «Геоинформатика». – 1992. – 49 с.
10. Буш В. А. Проблема кольцевых структур Земли // Итоги науки и техники, серия «Общая геология». – М.: ВИНТИ. – 1986. – 116 с.
11. Буш В. А., Хаин В. Е. Кольцевые структуры Земли: теоретическое и практическое значение, проблемы дальнейшего изучения // Изв. вузов. Геология и разведка. – 1986. – № 3. – С. 3–13.
12. Кроткова О. Т. Кольцевые структуры закрытых платформенных территорий и оценка их тектонической активности по геоморфологическим данным // Исследование Земли из космоса. – 1988. – № 6. – С. 57–65.
13. Васильев В. И. Распределение рудных тел и узлов в центральноплощадных структурах // Тр. ВСЕГЕИ. – М.: ВСЕГЕИ. – 1973. – С. 46–50.
14. Кац Я. Г., Тевелев А. В., Плетаев А. И. Основы космической геологии (уч. пособ.). – М.: Недра. – 1988. – 235 с.
15. Четырехязычный энциклопедический словарь терминов по физической географии (состав. И. С. Щукин). – М.: Советская энциклопедия. – 1980. – 703 с.
16. Фивенский Ю. И. Малые кольцевые структуры рыхлых отложений земной коры. Науч. открытие. Диплом ОТП РАН № 02-д/02 от 22 октября 2002.





**Рис. 6. МКС на поверхности планеты Марс — по материалам съемок с комических аппаратов VIKING 1 и VIKING 2**  
а) фрагмент мозаичной фотокарты Марса в 6-градусной зоне гауссовой проекции; б) структурное изображение фрагмента (а); в) фрагментарно визуально дешифрируемые по структурному изображению МКС

17. Фивенский Ю. И., Ведешин Л. А. Проблемы структурометрических определений по материалам аэрокосмических съемок Земли. В кн.: Структурный анализ снимков в аэрокосмических исследованиях Земли. – М.: Изд. МФГО СССР. – 1985. – С. 3850.

18. Фивенский Ю. И. Новое научное направление – аэрокосмическая структурометрия // География, общество, окружающая среда. Т. VII: Картография, геоинформатика и аэрокосмическое зондирование. – М.: «Издат. Дом Городец». – 2004. – С. 235–247.

19. Haralick R. M. Statistical and structural approach to texture // Proceedings of the International Symposium on Remote Sensing for

Observation and Inventory of Earth Resources and Endangered Environment. Freiburg: July 28. – 1978. – С. 379–431.

20. Претт У. Цифровая обработка изображений. Кн. 2 / Пер. с англ. – М.: Мир. – 1982. – 480 с.

21. Муди Дж., Хилл М. Дж. Сдвиговая тектоника // Вопросы современной зарубежной тектоники. – М.: Изд-во ИЛ. – 1960. – С. 265–333.

22. Применение сейсмоакустических методов в гидрогеологии и инженерной геологии / Мин. геол. СССР; Всесоюз. науч.-исслед. ин-т гидрогеол. и инж. геол. / Под ред. Н. Н. Горяинова. – М.: Недра. – 1992. – 264 с.