

Н.А. Пуляев

СВФУ им. М.К. Аммосова, г. Якутск, Россия

ПРИМЕНЕНИЕ СОВРЕМЕННЫХ МЕТОДОВ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ПОВЕРХНОСТИ ЗЕМЛИ ПРИ МЕТАЛЛОГЕНИЧЕСКОМ АНАЛИЗЕ СЛОЖНОДИСЛОЦИРОВАННЫХ КОМПЛЕКСОВ

Аннотация. В статье дается краткая характеристика материалов дистанционного зондирования поверхности Земли, получаемых с помощью космических аппаратов, которые успешно используются для решения задач металлогении. Приводится краткое описание современных методов дистанционного зондирования земной поверхности и аппаратуры. Сделан обзор современных методов дистанционного зондирования поверхности Земли аэро- и космическими методами, применяемых при металлогенических исследованиях. Указаны их достоинства и недостатки. Выполнен анализ эффективности их применения для решения задач металлогении в России и зарубежных странах. Дается описание технологий выделения рудоносных объектов на поверхности и небольших глубинах Земли по результатам дешифрирования космофотоматериалов. Рассматриваются вопросы выявления и расшифровки форм структурного контроля оруденения, с использованием разномасштабной космической информации. Показаны преимущества системной оценки перспективных на выявление полезных ископаемых площадей, на основе комплексного анализа материалов, имеющихся в настоящее время в распоряжении специалистов-геологов.

Приведены примеры по дешифрированию аэрофотоснимков среднего масштаба и космических снимков, результаты поисков рудных геологических образований разного генезиса, возможности дешифрирования космофотоснимков для уточнения границ металлогенических структур, характера проявления месторождений в разных геологических условиях, с учетом дешифрируемых факторов контроля оруденения и закономерности их локализации. Сделан вывод, что дальнейшее развитие этого направления и совершенствование моделей металлогенических карт невозможно без привлечения новых методов и видов информации, одним из которых являются космические съемки поверхности Земли.

Ключевые слова: аэрофотометоды, космические фотоснимки, дешифрирование, методы дистанционного зондирования, металлогения, металлогенические структуры, карты, формации, магматические комплексы, лениаменты, кольцевые структуры, месторождения, аномалии.

N.A. Puliaev

M.K. Ammosov North-Eastern Federal University, Yakutsk, Russia

APPLICATION OF MODERN METHODS FOR REMOTE SENSING OF THE EARTH SURFACE IN METALGENIC ANALYSIS OF COMPLEX DISLOCATED COMPLEXES

Abstract. The article gives a brief description of the materials of the remote sensing of the Earth's surface, obtained by using spacecraft, which are successfully used to solve problems of metallogeny. A brief description of modern methods of remote sensing of the earth's surface and equipment is given. A review of modern methods of remote sensing of the Earth's surface by aero- and space-based methods used in metallogenic studies is made. Their advantages and disadvantages are indicated. The analysis of the effectiveness of their use for solving problems of metallogeny in Russia and foreign countries. The description of technologies for the extraction of ore-bearing objects on the surface and shallow depths of the Earth according to the results of the interpretation of space photographs is given. The issues of identifying and deciphering forms of structural control of mineralization are considered using different-scale space information. The advantages of a systematic evaluation of promising

ПУЛЯЕВ Николай Анатольевич – к.г.-м.н., доцент СВФУ им. М.К. Аммосова.

E-mail: pna-s-vfu@mail.ru

PULYAEV Nikolay Anatolyevich – Candidate of Geological and Mineralogical Sciences, Associate Professor, M.K. Ammosov North-Eastern Federal University.

E-mail: pna-s-vfu@mail.ru

areas for the detection of mineral resources are shown, based on a comprehensive analysis of materials currently available to geologists.

Examples are given on the interpretation of aerial photographs of medium scale and satellite images, the results of geological ore formations of different genesis, the possibility of interpreting space photographs to clarify the boundaries of metallogenic structures, the nature of the manifestation of deposits in mineralization and the laws of their localization. It was concluded that the further development of this direction and the improvement of metallogenic maps are impossible without attracting new methods and types of information, one of which is satellite imagery of the Earth's surface.

Keywords: aerophotomethods, space photographs, interpretation, remote sensing methods, metallogeny, metallogenic structures, maps, formations, igneous complexes, lineaments, ring structures, deposits, anomalies.

Введение

Использование материалов дистанционного зондирования Земли (МДЗЗ) с каждым годом приобретает все большее значение при разномасштабных геологических, в том числе и металлогенических, исследованиях земной коры и занимают значительный объем при их использовании в прогнозных и поисковых целях. Полученным результатам с применением МДЗЗ посвящена обширная библиография, в том числе и приведенная в конце статьи в списке использованной литературы [1-11]. Анализ даже некоторой её части позволил сделать вывод о том, что МДЗЗ стали основой эффективной экспрессной технологии прогноза и поисков рудоносных и алмазоносных объектов земной коры, поскольку позволяют [1]:

а) непосредственно картировать часть уже известных факторов контроля оруденения (тектонический, литологический, геохимический и др.);

б) выявлять новую, часто недоступную другим методам, информацию об особенностях строения земной коры, определяющих пути миграции и условия локализации рудных объектов;

в) эффективно использовать преимущества системного подхода из-за возможности работать с разномасштабными изображениями изучаемых областей;

г) применять высокоэффективные математические методы и новейшие компьютерные технологии обработки как самих МДЗЗ, так и результатов их визуального дешифрирования в целях более надежного выявления рудоконтролирующих и рудосопровождающих факторов.

Приоритетное значение МДЗЗ приобрели в странах, где динамично развиваются программы изучения природных ресурсов по материалам космических съемок (в США, Канаде, странах Европейского сообщества, Китае, Японии, Индии, Бразилии). Развитие этого направления в геологической отрасли России задача крайне актуальная, т.к. наблюдается некоторое отставание от других стран из-за дефицита финансовых средств на воспроизводство запасов и поиски новых месторождений.

Обзор современных методов дистанционного зондирования Земли

Космическое зондирование Земли производится для решения обширного круга задач и осуществляется с помощью приёмников, находящихся на околоземных орбитах разной высоты. Они регистрируют как отраженное, так и собственное излучение расположенных на поверхности Земли объектов в различных зонах спектра электромагнитных волн. Результаты дистанционного зондирования отображаются на космофотоматериалах (КФМ) разных масштабов.

На основе способов регистрации тех или иных диапазонов волн и видов применяемой для этого аппаратуры, разработана классификация съёмок [2]: гамма-съёмка, ультрафиолетовая, люминесцентная, спектрозональная, телевизионная, фотографическая, лазерная, инфракрасная, радиолокационная. Существуют также виды съёмок, использующие аппаратуру, регистрирующую изменения ускорения свободного падения, магнитного поля и ареолы рассеяния газов и твердых частиц в атмосфере.

Космические съемки подразделяются на пассивные (используют отраженное солнечное излучение и первичные физические поля) и активные (обеспечивают посылку собственного сигнала к поверхности Земли с последующим его обратным приемом). В зависимости от используемых приемников, регистрирующих тот или иной диапазон электромагнитных волн, поступающая к пользователю информация представляется в виде двумерных (фотографии) или одномерных (профили, графики) изображений и записывается на различные магнитные носители (ленты, диски и др.).

При металлогенических исследованиях, проводимых в прогнозных и поисковых целях, используются преимущественно фотографические и сканерные съемки, реже – инфракрасные и радиолокационные. Основными их поставщиками в настоящее время являются США, Франция и Россия.

Фотографические съемки выполняются на светочувствительных пленках разнообразными оптическими системами (фотоаппаратами), установленными на спутниках. Обзор (размер кадров), разрешение, характер информации зависят от высоты орбит носителей, характеристик аппаратуры (коротко- или длиннофокусные объективы), типа пленок (монохромные, спектрально-зональные, цветные), которые затем доставляются на Землю в спускаемых аппаратах и, проявляются в лабораториях.

В настоящее время фотографические съемочные системы различного типа продолжают активно использоваться и в российской геологии, позволяя по разработанной технологии получать снимки высокого геометрического разрешения, которые крайне необходимы при решении комплекса геологических, включая и металлогенические, задач. Ряд принципиальных недостатков, среди которых меньшее, в сравнении с некоторыми зарубежными сканерными системами, спектральное и радиометрическое разрешение, аналоговая форма выходных данных, невозможность работы в режиме on-line, компенсируются современными возможностями перевода аналоговых МДЗЗ в цифровые путем прецизионного сканирования, а также более низкой стоимостью отечественных МДЗЗ в сравнении с зарубежными их аналогами. Вместе с тем прослеживается тенденция отказа от фотографических камер в пользу цифровых оптико-электронных систем [2].

Сканерные съемки отличаются от фотографических тем, что производится сканирование местности перпендикулярно направлению полета носителя с помощью качающегося зеркала или вращающегося барабана с зеркалами на боковых поверхностях. Длина полосы сканирования зависит от угла качания зеркала или частоты вращения барабана. На экране электронно-лучевой трубки возникает изображение строки выбранного диапазона электромагнитных колебаний, которое фиксируется на фотопленку, протягиваемую перед экраном трубки. Скорость движения пленки, определяющая масштаб снимка, скоординирована со скоростью носителя. По мере движения одна строка сменяет другую, т.е. развертка изображения в направлении, перпендикулярном движению носителя, осуществляется сканированием, а по направлению движения носителя – перемещением последнего. В результате формируется сканерное изображение, записываемое на магнитную ленту и передаваемое затем на Землю, где оно воспроизводится на экране компьютера.

Близкими к сканерам по принципам получения информации являются видеоспектрометры. Это приборы на основе матричных приемников, позволяющие измерять потоки излучения в узких спектральных каналах и фиксировать в полете пространственное распределение тонких спектральных различий объектов земной поверхности. Видеоспектрометры формируют серии спектральных изображений, количество которых может достигать первых сотен. С их помощью определяют оптимальные узкие спектральные каналы для обнаружения и опознавания таких труднорегируемых объектов и явлений, как, например, зоны вторичных гидротермальных изменений горных пород, стресс растительности, вызванный повышенными концентрациями ряда соединений над рудными залежами и месторождениями углеводородов, и т.п. Видеоспектрометры дают возможность создавать репрезентативные библиотеки спектров для автоматизированного геологического картирования, прогноза и поисков месторождений полезных ископаемых. Перспективы развития видеоспектрометрии связаны с расширением области спектральной чувствительности до тепловой, комплексирования с другими системами дистанционного зондирования, с развитием технологий обработки гиперспектральной информации.

Инфракрасные съемки (ИК-съемки) регистрируют длинноволновое излучение объектов земной поверхности. Инфракрасная область электромагнитного спектра условно делится на ближний (0,74-1,35 мкм – верхняя граница чувствительности человеческого глаза), средний (1,35-3,5 мкм) и дальний (3,5-1000 мкм) диапазоны. Под воздействием солнечного излучения, внутреннего (эндогенного) тепла планеты и деятельности человека объекты поверхности Земли в зависимости от их физических свойств (тепловой инерции, альbedo, влажности и т.д.)

испытывают неравномерное нагревание, вызывающее различные температурные аномалии, которые и регистрируются при ИК-съемке. Опытным путём установлено, что при прохождении инфракрасного-излучения через атмосферу наблюдается избирательное поглощение, в связи с чем ИК-съемка может осуществляться только в определённых «окнах прозрачности», которых условно выделено четыре (в мкм): 0,74-2,4; 3,4-4,2; 8-13; 30-80. В диапазоне 0,74-1,20 мкм используется отраженное солнечное излучение и применяются обычные методы съемки (инфракрасная фотосъемка) на специальную пленку с красным фильтром. Так как инфракрасное излучение отличается от видимой части спектра коэффициентами отражения и пропускания, достигаются иные соотношения контрастности отдельных объектов и их деталей, т.е. получается дополнительная информация.

Инфракрасная тепловая съемка регистрирует непосредственно тепловое излучение объектов Земли, обусловленное их нагревом или собственным тепловым излучением [3]. Применяются специальные тепловизоры, различающиеся рабочими интервалами: 3-5 и 8-13 мкм. Принцип работы аналогичен сканеру: в приёмной части аппаратуры ИК-излучение трансформируется в электрические сигналы, которые с помощью электронно-лучевой трубки преобразуются в видимое изображение.

При распознавании однородных геологических объектов с помощью ИК-снимков предполагается, что разновозрастные и близкие по литологии породы обладают одинаковыми тепловыми контрастами, т.е. отражаются одним тоном и близким текстурным рисунком. Имеются примеры регистрации тепловых аномалий над крупными разломами, сульфидными рудными телами.

Радарные съемки обеспечиваются посылкой сигнала в микроволновом диапазоне к поверхности Земли с последующей фиксацией его отражения. Изображение строится лучами, отраженными от поверхности, которые визуализируются с помощью электронно-лучевой трубки. Съемки осуществляются в сантиметровом и дециметровом диапазонах волн. Результаты радиолокации представляют собой голограммы, по которым с использованием специальных программных средств можно синтезировать собственно изображения. Космические радиолокационные станции способны получать изображения с разрешением 10-20 м. Важными параметрами съемки являются также частотный диапазон, поляризация и угол падения луча. По свойствам радиолокационные снимки принципиально отличаются от таковых других видов дистанционного зондирования. Характерной особенностью радиолокационных материалов, полученных станциями бокового обзора, является хорошая дешифрируемость элементов рельефа поверхности Земли, что и определило их применение при геологических исследованиях. В настоящее время реальные перспективы в геологии имеют в основном космические измерительные радиолокаторы бокового обзора, ориентированные на построение цифровой модели рельефа дневной поверхности, картирование пликтивных и дизъюнктивных деформаций толщ горных пород земной коры, выходов на дневную поверхность интрузивных образований, участков Земли покрытых эффузивными комплексами, гидрогеологических и других особенностей территорий.

Основной тенденцией в развитии радиолокационного метода является переход на измерительные технологии, использующие:

- а) поляризационные принципы, позволяющие анализировать структуру облучаемых поверхностей;
- б) многочастотные системы (в том числе и метрового диапазона) для получения информации о геологическом строении верхней части разреза;
- в) интерферометрические принципы, открывающие новые перспективы изучения современных тектонических движений естественного (например, землетрясения) и антропогенного (просадки над эксплуатируемыми месторождениями подземных вод, нефти и газа, шахтными полями) происхождения.

Масштабы космических изображений поверхности Земли зависят от высоты орбиты носителей и типа применяемой аппаратуры [2]. С малых орбитальных высот (200-400 км) основной объем информации поступает в масштабах от 1:3 000 000 до 1:200 000 и крупнее. Со средних орбитальных высот (600-1500 км) снимаются телевизионные, сканерные и фотографические снимки в масштабах от 1:1 000 000 до 1:100 000 000. Более высокие орбиты используются для получения в основном метеорологической информации.

Уникальность материалов космических съемок при геологических исследованиях опирается на такие их свойства, как обзорность, естественная генерализация изображений, рентгеноскопичность, специфичность информации в различных диапазонах электромагнитного спектра.

Обзорность космических снимков колеблется от сотен до десятков тысяч километров, что обеспечивает возможность исследовать геологические образования и структуры на значительных площадях с одинаковой детальностью и изучать их пространственные взаимоотношения на однородном по свойствам материале. При этом создаются благоприятные условия для районирования изучаемых территорий на фоновые и аномальные площади, что крайне необходимо при прогнозировании, а также при работах в труднодоступных районах.

В связи с тем, что съемочные системы позволяют получать изображения с разным пространственным и радиометрическим разрешением, в процессе дистанционного зондирования происходит пространственная и факторная интеграция информации, что, по сути, является естественной генерализацией. Это свойство существенно повышает качество решения целого круга научных и производственных задач, связанных с анализом структурно-вещественной организации литосферы на разных уровнях ее развития. При малом разрешении космических снимков на первый план выступают наиболее крупные и интегрированные черты строения земной коры изучаемых территорий. С увеличением разрешения синхронно уменьшается степень интеграции геолого-ландшафтных признаков. Таким образом, космические снимки разного масштаба информируют о структурах разной глубинности, что крайне важно при решении прогнозных и поисковых задач с позиций системного подхода.

Несмотря на значительный положительный эффект применения КФМ, все же имеются и существенные недостатки. Это выражается в том, что часто обрабатываются МДЗЗ в одной, редко двумя съемочными системами. При этом результаты обработки в сильной степени зависят от пространственно-частотных характеристик изображений, определяемых их детальностью.

Основные аспекты применения материалов дистанционного зондирования Земли для решения задач металлогении

Изучение аэро- и космических фотоснимков и извлечение содержащейся в них геологической информации является очень важной составной частью комплекса геологических исследований в областях развития сложно дислоцированных толщ земной коры. Их применение обеспечивает существенное повышение эффективности и достоверности проводимых работ, сводит до минимума неоднозначное истолкование собранных фактов, улучшает организацию и планирование разноплановых геологических исследований.

Прогноз в геологии – это научно обоснованное моделирование мест возможного образования месторождений полезных ископаемых, формирующихся в различные металлогенические эпохи развития Земли в многообразных геодинамических условиях под влиянием эндогенных и экзогенных процессов. Как правило, это совокупный анализ существующей геологической информации, в том числе и полученной из космоса, по тем или иным территориям, позволяющий выявлять наиболее перспективные участки (площади) локализации различных по генезису руд и закономерности их размещения.

По установлению закономерностей размещения полезных ископаемых и выявлению потенциально рудоносных объектов на территории России широкое развитие получили работы Е.В. Акимовой, Е.В. Брюханова, И.К. Волчанской, Е.А. Баскина, Е.И. Башилова, Е.Н. Сапожникова, Н.А. Гусева, А.В. Доливо-Добровольского, С.Т. Стрельникова, А.Е. Михайлова, Н.Т. Кочневой, И.Н. Томсона, В.Д. Скарятин, В.И. Макарова, В.М. Моралева, М.З. Глуховского, Н.В. Скубловой, М.А. Фаворской, В.Г. Трифонова, А.Д. Щеглова, С.С. Шульца и многих других исследователей [2]. Анализ этих работ дал возможность определения общегеологических принципов использования космических снимков при металлогенических исследованиях (прогнозе и поисках полезных ископаемых) [4].

1. Разноранговые рудоносные площади (таксоны) в большинстве случаев обладают геологическими границами, которые контролируются структурными формами различного типа, порядка и масштаба. Структуры эти либо определяют положение рудоносных площадей в земной коре, либо выступают в роли концентраторов оруденения. В качестве структур с повышенной

рудоносностью рассматривают обычно рифты, «жесткие» выступы основания, срединные массивы, участки очаговой и поясовой тектоно-магматической активизации.

2. Глубинные магматические расплавы и минерализованные растворы при движении к поверхности чаще всего используют «ослабленные» зоны в земной коре (например, разломы глубокого заложения), возникающие вследствие воздействия эндогенных сил. Выделение и систематизация информации о глубинных разломах различного ранга и строения, формах их взаимодействия друг с другом позволяют выявлять области и участки с различной степенью рудоконтроля и рудолокализации.

3. Минеральные скопления полезных ископаемых различных типов обычно связаны с определенными породами (или их ассоциациями) и сопровождаются разнообразными комплексами вторичных изменений вмещающих пород. И те, и другие находят отражение в текстурных особенностях и спектральных яркостях изображений, получаемых из космоса.

Исходя из этих принципов, определены три направления развития исследований при прогнозе полезных ископаемых с применением космических снимков [5]:

1. выявление структур, способных определять рудоформирующие и рудоконтролирующие процессы для таксонов разного ранга;

2. опознание пород, способных концентрировать искомое оруденение, а также зон вторичного их преобразования под воздействием процессов концентрации руд и их последующего разрушения;

3. повышение качества, полноты, детальности, глубинности и объективности геологических карт, используемых при оценке перспектив территорий (косвенная оценка).

Анализ изданных литературных источников показывает [1-11], что подавляющая масса полученной информации о геолого-структурной позиции рудных районов, полей и месторождений магматогенного, гидротермального и экзогенного генезиса относится к установлению их связей с разломами определенного ранга и простирания, а также с узлами пересечения этих разломов и сочленения между собой. Часть структур такого рода была выявлена при анализе материалов космических съемок.

На современном этапе развития геологических исследований и, в частности, региональных металлогенических работах актуальным является вопрос о необходимости использования для целей металлогенического анализа и картирования обширной информации, получаемой при изучении земной поверхности из космоса. Имеющийся уже опыт использования космической информации у нас в стране и за рубежом для целей региональной металлогении и рудной геологии показывает, что наметились определенные новые пути познания закономерностей размещения полезных ископаемых в структурах земной коры с учетом космических данных.

Для региональной металлогении и рудной геологии это направление исследований, требует разработки специфических методов и технических средств. На современном этапе внедрения информации, получаемой из космоса, в металлогению и рудную геологию, определились области, где применение этой информации способствует или может способствовать выявлению новых закономерностей и решению прикладных задач геологии. Вопросы изучения геохимических и геофизических полей Земли с помощью пилотируемых космических аппаратов и непилотируемых спутников в настоящее время успешно решаются. За этими направлениями изучения металлоносности недр Земли, большое будущее, оно несет возможность самых разнообразных открытий. Возможно, с помощью космических аппаратов будет получена обширная информация по металлогенической специализации нашей планеты, что, несомненно, будет важным шагом на пути применения результатов космических исследований непосредственно для выявления рудоносных площадей и выбора направлений поисковых работ.

В настоящее время, главной задачей является более широкое использование МДЗЗ в металлогении и рудной геологии. В большинстве случаев при геологических исследованиях использование этих материалов уже становится обязательным элементом анализа при изучении перспектив рудоносности той или иной территории.

Известно, что дешифрирование КФС позволило установить их некоторые характерные особенности. В первую очередь это относится к возможности получения на снимках обобщенных, генерализованных элементов (структур), которые не просматриваются на снимках ограничен-

ных площадей (например, на АФС), заснятых с небольших высот. Кроме того, на КФС часто просвечиваются глубинные структуры, перекрытые различными комплексами пород. Эти две особенности КФС – генерализация и просвечивание, имеют важное значение для геологического изучения земной поверхности и принадлежат только «космической информации».

Анализ опубликованных материалов по дешифрированию КФС показывает, что последние содержат и другую важную информацию, отражающую, по-видимому, главные черты строения земной поверхности. К таким, главным, генеральным особенностям, относятся, с одной стороны, крайне широкое развитие на земной поверхности линейных разрывных нарушений различных масштабов, которые не фиксируются наземными наблюдениями, а с другой – не менее широкое развитие так называемых кольцевых, концентрических структур различного генезиса.

В области региональной металлогении особое значение приобретает изучение на космических фотоснимках региональных разрывных нарушений, их классификация и последующее сопоставление полученного материала с тектоническими и металлогеническими картами с целью познания особенностей влияния разрывных нарушений на размещение месторождений [4]. Важное значение при этом приобретают установление металлогенического значения трансрегиональных разрывных нарушений и выяснение их роли в проявлении рудных месторождений различных типов. Изучение разрывной тектоники с помощью космических снимков стало в настоящее время неотъемлемой частью исследований при составлении структурно-формационной основы для металлогенических и прогнозных карт всех масштабов.

Особое значение, при этом, имеет выделение блоковых структур и зон их сочленения с другими образованиями. На космических снимках отчетливо фиксируются срединные массивы и обрамляющие их разрывные структуры. Учитывая особенность просвечивания перекрытых структур, по данным космических съемок возможно выделение новых, более древних, чем поверхностные структуры, жестких блоков типа срединных массивов. Это имеет важное значение для установления особенностей локализации оруденения в верхних структурных этажах над жесткими структурами разных масштабов. Это актуально в случае анализа металлогении вулканических поясов, где жесткие блоки субстрата играют заметную роль в локализации оруденения.

Использование космических снимков при составлении региональных металлогенических карт приводит к уточнению локализации уже известных и выявлению новых закономерностей размещения месторождений. В настоящее время, пожалуй, наиболее четко определены направления по установлению новых закономерностей локализации оруденения в связи с трансрегиональными разломами и блоковой тектоникой сложно дислоцированных комплексов (территория Алдано-Станового щита), в особенности с «просвечивающимися» перекрытыми блоками. Судя по космическим снимкам, особое место среди разрывных структур имеют крупные дугообразные, часто концентрические по форме разломы и их системы.

В общем случае при региональных металлогенических исследованиях мелкомасштабные космические снимки играют роль важного вспомогательного материала, без которого анализ закономерностей размещения месторождений (металлогенический анализ) является неполным. В то же время говорить о том, что в настоящее время с помощью КФС возможно открытие рудных месторождений, даже районов или провинций, пока преждевременно.

Результаты применения материалов дистанционного зондирования Земли при изучении сложно дислоцированных комплексов

Отметим некоторые исследования по использованию КФС для целей металлогенического анализа.

Онихимовский В.В. [6] на примере Приморья показал металлогеническое значение линейных, овальных и кольцевых структур, установленных при дешифрировании КФС. Он отметил, что для прогнозируемых рудоносных площадей весьма перспективны геохимические (металлогенические) узлы и зоны пересечения линейных структур, особенно северо-восточного и северо-западного направлений с овальными и кольцевыми структурами, а также приуроченность узлов пересечений к гравитационным ступеням и локальным аномалиям силы тяжести.

Для изучения региональных особенностей локализации оруденения в областях тектоно-магматической активизации, где горные породы претерпели многократные деформации (сложно дислоцированные комплексы горных пород) на территориях Алдано-Станового щита (АСЩ)

и Забайкалья И. Н. Томсоном с коллегами [6] были успешно использованы КФМ, дешифрирование которых также показало связь оруденения с региональными и локальными линейными разрывными и многочисленными кольцевыми структурами и значение различных ассоциаций этих пар структур для металлогенического анализа.

За рубежом интересные исследования выполнены на Аляске [6] и в Мексике [7]. На Аляске при анализе КФС были выявлены не известные ранее зоны крупных, поперечных к складчатости разломов, контролирующих оруденение. Салас П. [7] показал связь рудных месторождений Мексики с линейными зонами разломов, выявленных с помощью КФС. Почти все минерализованные участки земной поверхности контролируются зонами нарушений, которые совпадают с высококонтрастными геохимическими и геофизическими аномалиями. Наибольшие концентрации рудных месторождений возникают на пересечении разрывных зон различных направлений. Судя по прилагаемым к работе Саласа П. [7] КФС, на территории Мексики дешифрируются и кольцевые разломы, значение которых почему-то Саласом П. для локализации оруденения не было учтено, хотя на КФС они отчетливо видны. Используя совместно выявленный комплекс разрывных нарушений и кольцевые структуры можно предположить, что некоторые рудные районы этой части Земли располагаются на пересечении кольцевых и линейных зон разрывов.

Применение КФС при средне- и крупномасштабных металлогенических исследованиях в настоящее время осуществляется еще в ограниченных масштабах. Однако и в этих работах использование информации, получаемой при съемках земной поверхности из космоса, представляется весьма перспективным направлением. Прежде всего, это относится к более детальному изучению разрывных нарушений, часто имеющих рудоконтролирующее значение. Здесь стоит задача не только выявления разломов различных порядков, их последующего изучения и классификации, но и задача дешифрирования геологических образований, в виде опережающих трещин. В первую очередь это связано с выявлением трещинных рудоносных интрузий (даек разной длины), часто во многих регионах, образующих цепочки интрузивных тел, как бы наложенных на разломы (например, Становой разлом, разделяющий Алданский щит и Становую складчато-глыбовую область). Это важно при анализе областей тектоно-магматической активизации в условиях, когда разрывные нарушения являются главнейшими структурными элементами, определяющими развитие конкретных регионов, а в их пределах – отдельных блоков. А.Миккола и П.Вуорела [8] обнаружили тесную связь рудных месторождений с глубинными разломами разных типов. Большая часть этих рудоконтролирующих структур была выделена по КФС в сочетании с анализом геофизических данных.

Всесторонний анализ результатов дешифрирования космических снимков платформенных областей, привел к выявлению новых особенностей проявления разрывных дислокаций в пределах этих жестких мегаструктур, а, следовательно, и, возможно, иной интерпретации закономерностей размещения полезных ископаемых, проявление которых тесно связано с разрывной тектоникой.

Учитывая особенности КФС и, прежде всего, возможность генерализации структурных элементов наряду с «эффектом просвечивания» геологических структур как разрывных, так и иного характера, следует определить возможность применения этих особенностей для анализа геологического строения и металлогении платформенных областей России. Например, дешифрирование КФС территории Сибирской платформы позволило выявить новые факторы контроля локализации кимберлитовых трубок, а «эффект просвечивания» – определить положение новых трубок, перекрытых трапповыми потоками. Эти трубки наземными геохимическими методами поисков фиксируются комплексными высококонтрастными аномалиями химических элементов (ХЭ) сидерофильной группы [9]. Аномалии таких ХЭ как марганец, хром, титан, ванадий, а также кобальт и никель, являются поисковыми критериями обнаружения (с высокой вероятностью) на глубине тел ультраосновных пород. Примером могут служить аномалии, выявленные на Куонамской площади РС (Я), где уже выявленные наземными методами кимберлитовые трубки пространственно сопряжены с аномалиями ХЭ сидерофильной группы. Кроме того, другие такие аномалии, у которых не было явной связи с телами ультраосновных пород, при бурении скважин позволили выявить на разных глубинах такие же тела.

Космическая информация уже успешно применяется для целей локального прогноза алмазоносных тел на западе Сибирской платформы и есть положительные результаты [2].

На космических снимках юга Сибирской платформы в пределах Алдано-Станового щита (АСЩ), привлекают внимание дугообразные, часто почти замкнутые в кольцо линии; системы тесно сближенных коротких линий – борозд; относительно прямые протяженные линеаменты или линеаментные зоны [4]. Сочетание этих структур создает своеобразный тектонический узор. Изучение геологических и геофизических материалов показало, что дугообразные линии представляют собой, скорее всего, след выхода на поверхность фрагментов долгоживущих кольцевых разломов, контролирующих размещение разновозрастных метаморфических, осадочно-вулканогенных, осадочных, магматических комплексов, зон гидротермального метасоматоза и гранитизации. Линейно-полосчатые структуры (борозды) отождествляются с зонами мегакливажа, контролирующими пространственное размещение гранитов и полос гранитизированных пород и даек на АСЩ. Линеаменты и линеаментные зоны в большей части совпадают с ранее выявленными крупными разломами глубокого заложения.

Зарубежный опыт дешифрирования космических снимков территорий щитов и платформ, в частности территории Западной Австралии [7], показывает, что на КФС отчетливо фиксируются поверхности выравнивания с бокситоносными корами выветривания. Этот факт стал широко использоваться при организации поисковых работах на бокситы.

Использование информации космических съемок представляет особый интерес для выяснения особенностей локализации рудоносных горизонтов, к которым приурочены и стратиформные месторождения, в первую очередь полиметаллов: свинца, цинка и меди. Особенно это относится к таким регионам, как территория РС (Я), Прибайкалье, Таджикистан, где использование материалов обычных аэрофотосъемок и космофотосъемок позволило «генерализовать» выходы продуктивных толщ и проследить их на закрытых площадях.

Особое значение материалы космофотосъемок приобрели для расшифровки строения вулканических поясов. Это относится не только к огромным площадям Охотско-Чукотского и Приморского вулканогенных поясов, но и значительно меньшим по территории структурам. Например, в Средней Азии в пределах Срединного Тянь-Шаня и Гиссара, представляющих собой только небольшую часть позднепалеозойских вулканических поясов, в результате дешифрирования КФС отчетливо проявляются структуры палеокальдер [6]. Сложность их строения обусловлена сочетанием вулканических палеопостроек разных типов с разрывными нарушениями, происходившими по концентрическим дуговым срывам (нарушениям).

Имеются интересные публикации о применении КФС для целей дешифрирования вулкано-тектонических структур и в России. Так, например, С.Е. Апрельков, Б.В. Ежов, Ю.И. Харченко [6] предприняли попытку расшифровать вулкано-тектонические структуры Камчатки с помощью КФС. Выяснилось, что при выявлении вулканических структур наряду с целым рядом критериев их выделения, «космический» критерий является одним из наиболее эффективных. С его помощью (при дешифрировании КФС) отчетливо устанавливаются границы вулкано-тектонических структур, определяемые по протяженным линейным и кольцевым разрывам. Они показали также возможность выделения по космическим снимкам нарушений, пересекающих в северо-западном направлении все структуры полуострова. Было отмечено, что кольцевые вулкано-тектонические структуры первого порядка локализуются в блоках между разломами северо-западного направления. Блоковое строение Камчатки, приуроченность вулканических кольцевых структур к сетке пересекающихся разломов, сложность строения и многоэтапность формирования вулкано-тектонических структур с образованием разнотипных структур второго порядка – все это выявлено не только по геологическим данным, но в значительной степени, и по материалам космофотосъемок. Несомненно, эту информацию необходимо учитывать при анализе особенностей проявления рудных процессов, прежде всего, для установления их связи с различными элементами кольцевых вулкано-тектонических структур различных порядков.

Важное значение имеет изучение КФМ по шельфовым зонам и районам приморских впадин, в особенности на севере РС (Я), на Чукотке и Камчатке. В этих регионах использование «эффекта просвечивания» геологических структур уже привело к выявлению перекрытых молодыми осадками палеорусел древних рек, в пределах которых представляется возможным выявление золотых и оловоносных россыпей. В этом плане представляет интерес изучение шельфа дальневосточных морей, где по КФС открыты продолжения русел современных рек

в прибрежных морских акваториях. В Приморье это уже привело к открытию небольших (псевдоморских) россыпей в руслах современных рек, затопленных морем [2, 6].

Одной из важных особенностей строения земной поверхности, которую удалось выявить (но однозначно еще не объяснить) при дешифрировании космических снимков, явилось открытие многочисленных кольцевых структур. При анализе космических снимков разных частей поверхности Земли, поражает широкое развитие таких структур, причем в регионах, имеющих различное геологическое строение. Кольцевые (овальные, круговые) структуры имеют различные размеры, они группируются в системы и группы структур, в пределах которых выделяются структуры различных порядков. Во многих случаях крупные кольцевые структуры осложнены более мелкими, как бы «паразитирующими» круговыми структурами, располагающимися на обрамлении первых. Такие кольцевые структуры не всегда имеют строго округлую форму, для них часто характерны эллипсоидальные, вытянуто-овальные, иногда не полностью замкнутые формы.

Выявление столь широкого развития таких кольцевых структур на поверхности Земли с помощью дешифрирования КФМ является одним из принципиально важных открытий, которое стало возможным только при изучении Земли из космоса. Очевидно, что понятие «кольцевые структуры» в настоящее время объединяет только геометрически сходную, выраженную в виде овалов или колец, группу геологических структур, для которых общим является только один элемент – их округлая конфигурация. Генетическая природа этих структур может быть различной.

Разработанная методика по изучению таких разных по генезису образований на поверхности Земли, позволила установить среди них несколько типов [4, 5]:

- а) куполовидные, округлые структуры гнейсовых толщ докембрия;
- б) соляные купола, в том числе «просвечивающиеся» под более молодыми отложениями;
- в) округлые, овальные структуры осадочных комплексов (формаций) различного возраста, в том числе нефтегазоносные структуры;
- г) вулкано-тектонические структуры различного возраста со всем разнообразием палеокальдер и других вулканических построек, в том числе лавовые сооружения современных вулканов;
- д) взрывные метеоритные кратеры (астроблемы);
- е) кольцевые (округлые по форме) интрузии и кольцевые дайки;
- ж) различные по масштабам кольцевые и овальные разрывные нарушения.

Возможна, конечно, и другая природа кольцевых структур. Однако указанные наиболее часто дешифрируются. Как показывают результаты изучения КФМ, среди них особое распространение имеют кольцевые, овальные и дугообразные разломы, которые не находили ранее достаточного отражения на геологических картах, потому, что при их составлении применялись только аэрофотоснимки, на которых структуры крупных размеров не дешифрировались или выявлялись только их фрагменты. По предварительным данным такие кольцевые разрывные нарушения во многих случаях не сопровождаются магматическими образованиями, которые обычно залечивают эти разрывы. Последние часто рассекают все геологические образования и, очевидно, являются в большинстве своем относительно молодыми нарушениями. Не исключено, что такие овальные, кольцевые нарушения возникают в результате интенсивных вертикальных (радиальных) ударов (взрывов), направленных от центра нашей планеты к ее внешней оболочке [5]. Кольцевые или овальные разломы в этом случае могут отражать горизонтальные срезы конусов разрушения (на различных их уровнях), возникающих в результате этих процессов.

Обследование поверхности Земли с помощью космических аппаратов открыло принципиально новую возможность изучения из космоса геологических (геохимических и геофизических) полей земной коры [3, 8]. Это изучение уже привело к уточнению и выявлению определенных параметров уже известных рудоносных территорий – в первую очередь рудных провинций и районов – и позволило наметить методом аналогии главные критерии выделения новых подобных рудоносных площадей.

Осуществление многоспектральных съемок территории России из космоса уже сегодня привело к получению новой информации и, совместно с наземными наблюдениями, будет способствовать осуществлению металлогенического районирования на основе принципиально новых данных. Использование цветных КФС открывает новые возможности для выявления по фототонам зон измененных пород, площадных зон окисления и т.д. Опыт в этом направлении, связан-

ный с открытием по фототону рудоносных площадей, полученный на примере Пакистана [6], заслуживает пристального изучения. Известно также, что в золоторудной провинции Южной Невады (США) проводилось изучение цветных КФС, автоматически обработанных методом отношений, в результате чего были выявлены цветные поля измененных пород, к которым приурочено золотое оруденение [10].

В настоящее время на основе имеющейся космической информации и планомерном поступлении новых данных, открывается возможность составления региональных космофотогеологических карт с элементами прогноза на рудные полезные ископаемые [2, 4]. В первую очередь это относится ко всей территории России, для которой наиболее актуально составление подобных карт в масштабе 1:5 000 000 или 1:2 500 000, а также для отдельных регионов Средней Азии, по которым в настоящее время уже имеются достаточно информативные КФМ. Для этих регионов, по-видимому, целесообразно составление таких космофотометаллогенических карт в масштабе 1:1 500 000 и, возможно, 1:1 000 000. Составление этих карт потребует новой интерпретации, казалось бы, уже хорошо изученных территорий, наметит новые пути анализа закономерностей размещения рудных месторождений с учетом данных космических исследований. По существу это будет началом нового современного этапа в металлогенических исследованиях и изучении рудных месторождений.

В этой связи определенный интерес представляет попытка Д. Картера [10] использовать КФМ для составления металлогенической карты центральной части Анд. На отдешифрованную космофотооснову, на которой были показаны выявленные по КФС линейные и концентрические структуры, нанесены площади развития месторождений определенных металлов, которые четко оформились в линейные пояса, часто совпадающие с площадями интенсивного развития разрывных нарушений, выявленных по КФС. Не исключено, что изучение рудоносных провинций и рудных районов непосредственно из космоса и с помощью КФМ откроет новые пути к познанию генезиса некоторых месторождений [11]. В первую очередь это относится к рудным образованиям, для которых предполагается связь с метеоритами и взрывными метеоритными кратерами, или месторождениям, которые располагаются в пределах или вблизи последних. Здесь можно упомянуть своеобразную гипотезу о метеоритном происхождении известного медно-никелевого месторождения Сёдбери в Канаде, которое издавна традиционно считалось ликвационно-магматическим [10]. Как известно, это месторождение связано с массивом габбро-диоритов, имеющим овальную форму. Считается, что рудоносная интрузия сформировалась на пересечении двух систем региональных разломов. Есть и другая точка зрения, предполагающая образование рудоносных габбро-диоритов в связи с падением на Землю крупного метеорита, раздробившего породы земной коры и открывшего путь для подъема основных магм.

Демонстрация участникам экскурсий XXIV сессии Международного геологического конгресса убедительных фактов [10, 12], подтверждающих космическое образование структуры Сёдбери, произвело сильное впечатление и многие из них даже признали метеоритное происхождение структуры Сёдбери.

К таким фактам относятся:

- а) овальный характер структуры, сходный с лунными кратерами;
- б) наличие в породах субстрата характерных структур удара (взрыва) – конусных структур;
- в) развитие в окружающих породах специфических брекчий и трещиноватых пород, характерных для районов падения астероидов;
- д) наличие в минералах пород субстрата структур типа шокового метаморфизма, возникающих при атомных взрывах.

Эта своеобразная точка зрения на генезис месторождения Сёдбери не лишена определенной привлекательности, несмотря на всю кажущуюся в настоящее время ее недостаточную аргументацию.

Изучение метеоритных кратеров на территории России крайне недостаточное [6, 12]. Несомненно, в дальнейшем, при получении информации из космоса по особенностям строения земной поверхности, круговые структуры древних метеоритных кратеров будут выявляться все чаще и чаще. И не исключено, что их изучение, приведет к открытию новых месторождений полезных ископаемых, выявлению особенностей взаимосвязей между ударом и взрывом метеоритов и характером развития рудоносных магматических процессов в земной коре.

Следует отметить существование иных точек зрения на образование месторождений на Земле. Например, что некоторые рудные месторождения и рудные провинции обязаны своим происхождением обильному выпадению рудного метеоритного вещества на земную поверхность в ранние стадии развития нашей планеты, что и послужило первопричиной их образования [12].

Следует больше внимания уделять рудоконтролирующей и рудоконцентрирующей роли кольцевых структур. В основе этих представлений лежат гипотезы [5] о том, что часть кольцевых разломов являются границами древних ядер стабилизации и благоприятны для миграции мантийных веществ и движения рудогенерирующих растворов. Они представляют собой зоны разгрузки петрогенных и рудных элементов, выносимых из ареалов гранитообразования и формируются над сводово-глыбовыми сооружениями и очаговыми структурами активизации, определяющими концентрическую металлогеническую зональность в областях орогенеза и активизации. Часто они ассоциируют с гранитоидными, основными и ультраосновными интрузиями и обусловлены восходящими газовыми и гидротермальными потоками разного масштаба и глубинности. В Южном Верхоянье, Забайкалье, на территории Алдано-Станового щита [9], в Охотско-Чукотском вулканогенном поясе кольцевые разломы и их фрагменты с радиусами до 500-800 км контролируют размещение месторождений меди, полиметаллов, редких металлов [4-6]. Наиболее крупные массивы с медно-никелевым оруденением Печенги и Норильска локализованы в центрах глобальных и региональных кольцевых структур, а массивы меньшего размера (Курейский, Южно-Таймырский) – в центрах периферических структур [5]. Изометричные структуры областей сводово-глыбовых поднятий и очаговые структуры определяют концентрическую металлогеническую зональность в областях орогенеза и активизации [4, 6].

Несомненный металлогенический интерес представляют и определённые ассоциации структурных элементов, выделяемых при анализе космических снимков. К ним относятся протяжённые зоны линеаментов, сопровождающиеся магматическими структурами центрального типа, выявленные по АФС КФС среди полей развития протерозойских вулканитов Западного Прибайкалья и мезозойских АСЩ [9], с которыми связаны проявления цветных и редких металлов. На территории центральной части АСЩ щита магматические образования представлены в основном полиформационными комплексами центрального типа: Инаглинским, Якокутским, Ыллымахским, Джекондинским, Томмотским, Золотым и Курунг-Саалинским. Кроме них, выявлены мелкие самостоятельные тела субщелочных и щелочноземельных пород в виде силлов, отдельных вулканических некков, роев даек. Часть магматических комплексов (Инаглинский, Томмотский, Курунг-Саалинский) расположена на пересечении глубинных разломов, а другая (Якокутский, Ыллымахский, Джекондинский, Золотой) в зонах разломов, ограничивающих блоки.

Рудоносность этих магматических комплексов разнообразна. Она отличается своеобразными сочетаниями рудных и нерудных зон [6, 9, 11], что связано со значительными вариациями состава пород (от ультраосновных до кислых) и их активным взаимодействием друг с другом в процессе длительного и многократного формирования комплексов. С ними связаны проявления Cr, Ni, Co, Pt, Fe, Си, Pb, Mo, Ai, Ag, Hg, As, Sb, а также флогопит-вермикулитовая, Cr-диопсидовая, флюоритовая, апатитовая, амфибол-асбестовая, форстеритовая минерализации. Все они по генетическому признаку относятся к классам магматических, метасоматических и гидротермальных образований. Характерной чертой минерализации магматических комплексов центрального типа является ее комплексный состав. Так, в пределах некоторых рудных зон совмещаются проявления Cr, Ni, Co, Fe с более поздней наложенной Hg-Sb-As или Cu-Pb-Mo минерализацией. Известно также совмещение флогопит-вермикулитовых и хромдиопсидовых залежей.

На Патомском нагорье такие зоны отвечают массивам гранитоидов с мусковитовыми пегматитами [6]. Среди мезо-кайнозойских андезит-липаритовых вулканогенных образований Тихоокеанского побережья цепочки мелких кольцевых структур соответствуют вулканическим аппаратам, к которым приурочены поля гидротермально изменённых пород и проявления цветных металлов [4].

Системы многочисленных дуговых линеаментов в Прибайкалье, Алдано-Становом щите, Южном Верхоянье отвечают чешуйчатого-надвиговым зонам, контролирующим редкометалльные углеродистые сланцы, шеелитоносные мраморы, медно-колчеданную минерализацию в вулканогенных породах [9].

Конечные результаты исследований по выявлению закономерности размещения месторождений полезных ископаемых в пространстве и во времени обычно отображаются на металлогенических картах [4, 6]. На них в максимально наглядном виде представляются результаты различных исследований. Например, на общеметаллогенических картах демонстрируются особенности локализации широкого круга полезных ископаемых, показываются выявленные главные металлогенические структуры, что позволяет провести изучение закономерностей размещения всех возможных типов оруденения и установить среди них главные для разработки рекомендаций при постановке специальных поисков. На специализированных металлогенических картах показываются факторы контроля оруденения (структурные, тектонические, литологические, магматические, метаморфические, геохимические и др.), характерные только для конкретного вида полезного ископаемого, что позволяет локализовать площади для его поисков.

Различается и методика работ при составлении этих карт. При общеметаллогеническом анализе изучается общая история геологического развития регионов; определяются тектоно-магматические циклы, этапы и стадии; рассматривается металлогения структурно-формационных зон, комплексов, рудных формаций различных периодов образования складчатых областей, платформ, структур активизации. При специализированном анализе изучаются типы полезного ископаемого, выделяются характерные для их локализации геологические формации и структуры, определяются закономерности размещения рудоносных зон, районов, узлов и месторождений и на этом основании формулируются основные поисковые критерии, позволяющие выделять перспективные площади.

Традиционное геологическое дешифрирование космических снимков, преобладавшее в начальный период их изучения, заключалось в главном образом в уточнении контуров геологических тел на поверхности, выявлении структурного каркаса и блокового строения регионов. В большинстве случаев выделялись площадные стратифицированные и нестратифицированные (вулканические и плутонические) объекты, покровы четвертичных пород, различные линейные объекты, обусловленные слоистостью, развитием даек и жил, разрывными нарушениями, зонами трещиноватости, милонитизации, катаклаза и т.д.; уточнялись протяженность и внутреннее строение крупных зон разломов и разрывно-складчатых деформаций, изучались взаимоотношения их между собой; выделялись структурно-формационные зоны, тектонические блоки разного ранга, кольцевые, дуговые и складчатые структуры.

На основе такого дешифрирования создавались геолого-структурные схемы конкретных площадей, космогеологические и космо тектонические карты крупных регионов, на которых, как правило, на фоне традиционной информации отражались структуры и образования, не фиксируемые наземными методами (протяженные линеаменты, кольцевые и дуговые структуры, различные цветовые и тоновые аномалии).

Приобретенный опыт исследования поверхности Земли с применением КФМ позволяет сделать вывод, что на формирование образов линеаментов оказывают влияние различные текстурные рисунки поверхности, структурно-фациальные зоны, полосы однообразно ориентированной трещиноватости и новейших деформаций земной коры, зоны повышенной сейсмической активности и аномального поглощения сейсмических волн, участки гравитационных и магнитных аномалий, границы областей с разным составом земной коры и т.д. Как было установлено в результате дешифрирования КФС, кольцам, кругам, овалам и дугам на снимках чаще всего отвечают вулканические, плутонические и вулканоплутонические комплексы центрального типа, слагающие депрессии, купола, кальдеры и другие структуры коры. Неоднократно отмечалось сходство части контуров кругов или овалов с границами неоднородностей в литосфере, выявляемых геофизическими методами, что позволило рассматривать часть дешифрируемых элементов как проявление глубинных нарушений, деформаций и зон магматической проницаемости, вертикальных и горизонтальных неоднородностей нижних частей земной коры и верхней мантии [2, 6]. Тоновые и цветовые аномалии, как правило, объяснялись особенностями литологического, петрохимического и геохимического состава приповерхностных геологических образований, их реакцией на процессы денудации, степенью обводненности, характером развитой в их пределах растительности, вторичными изменениями, следствием регионального, контактового и других типов метаморфизма, воздействием гидротермальных растворов и т.д.

Заключение

Важнейшей задачей, которая должна быть решена в ближайшее время, это определение наиболее эффективных направлений использования космической информации в конкретных рудноносных, алмазоносных и нефтегазоносных регионах, установление их «космических критериев» с целью использования для выявления методом аналогий новых перспектив на открытие рудных месторождений и районов.

Более интенсивное внедрение космической информации в региональный металлогенический анализ и рудную геологию несомненно будет способствовать выявлению новых закономерностей размещения рудных месторождений в земной коре и на этой основе – повышению эффективности металлогенических исследований в деле открытия новых месторождений. Использование космической информации способствует созданию особой группы космофото-металлогенических карт, на которых отразятся закономерности размещения месторождений, в связи с выявленными при дешифрировании КФС земной поверхности, новыми структурными элементами. Такие карты уже создаются на новых принципах и представлениях о развитии земной коры и связях месторождений с разнообразными типами структур. Работы в этом направлении уже ведутся и в нашей стране рядом научных коллективов. Они находятся в стадии совершенствования, однако, уже сегодня, видны новые аспекты изучения геологических явлений и намечаются те пути, которые должны привести к качественно новому решению некоторых проблем, связанных в первую очередь с познанием региональных закономерностей размещения рудных месторождений в земной коре. Это относится, прежде всего, к изучению роли ряда разрывных нарушений в локализации оруденения, расшифровке рудоконтролирующего значения тектонических структур (различного генезиса), уточнению геологического строения вулканических поясов, с выявлением роли жесткого субстрата в размещении оруденения, всестороннему использованию «эффектов генерализации и просвечивания» структур для целей установления новых закономерностей размещения оруденения и т. д. Определяющее значение для успешного их решения имеют мастерство дешифрирования КФМ, наряду с всесторонним анализом этих результатов, при установлении закономерностей размещения рудных месторождений в различных структурах. Поэтому использование КФМ для целей металлогенического анализа и рудной геологии – это комплексная, совместная работа специалистов-геологов по дешифрированию космофотоматериалов и геологов, занимающихся проблемами металлогении, отлично знающих не только регион, но и владеющих научными методами выявления закономерностей размещения рудных месторождений, в том числе и путем применения высокоэффективных математических методов и компьютерных технологий.

Использование КФМ и в будущем будет являться весьма перспективной областью применения принципиально нового вида информации для целей более полного изучения геологического строения Земли. Немаловажное значение приобретает и всестороннее изучение этих материалов для целей металлогении, а также и применение их для решения некоторых практических задач. Перспективным направлением анализа космической информации для решения задач металлогении является и разработка комплексных моделей (эталонов) рудных месторождений и узлов на основе данных по геометрии, спектральным характеристикам руд и интенсивности вторичного изменения вмещающих пород.

Так или иначе, но в настоящее время несомненно, что кольцевые структуры различного генезиса развиты широко на поверхности нашей планеты; они требуют всестороннего изучения и классификации. Для целей рудной геологии наибольший интерес представляют кольцевые вулкано-тектонические структуры и весь комплекс вопросов, связанный с их формированием, включая особенности развития субстрата вулканических построек и характера вулканоконтролирующих разрывных нарушений, металлоносность.

С учетом еще не полностью раскрытых возможностей космофотосъемки, представляется интересным направлением использование материалов космических съемок для выбора направления поисковых работ на поиски нефтегазовых месторождений и алмазов на платформах [2].

В пределах вулканических поясов для целей металлогенического анализа и рудной геологии дешифрирование космофотоматериалов в первую очередь должно быть направлено на: а) обнаружение палеовулканов и расшифровку характерных для них структур; б) выявление и уточнение характера разрывных нарушений, классификацию разрывов по возрасту, длитель-

ности их развития и принадлежности к различным генетическим группам; в) установление на основе «эффекта просвечивания» жестких блоков (структур) основания вулканических поясов, перекрытых более молодыми вулканогенными образованиями.

Конечно, все эти материалы должны анализироваться совместно с уже имеющимися данными по рудоносности тех или иных площадей, и иметь цель: выявление новых перспективных площадей и выявление на них закономерностей размещения месторождений полезных ископаемых.

Немаловажным моментом является повышение качества КФМ путем полного перехода к цифровой регистрации; улучшение пространственного разрешения и расширение динамического диапазона информативных сигналов; увеличение числа каналов регистрации и сужение их диапазонов; создание целевых технологий решения конкретных задач металлогении, в том числе на основе ГИС.

Литература

1. Доливо-Добровольский А.В., Николаев В.Ф. Изучение сложно дислоцированных комплексов по аэро- и космическим снимкам // Геологическая съемка сложно дислоцированных комплексов. – Л.: Недра, 1980. – С. 176-194.
2. Серокуров Ю.Н., Калмыков В.Д., Зуев В.М. Космические методы при прогнозе и поисках месторождений алмазов. – М.: Недра, 2001. – 198 с.
3. Ермаков В.И., Скоробогатов М.А. Тепловое поле и нефтегазоносность молодых плит СССР. – М.: Недра, 1986. – 222 с.
4. Ильин К.Б. Региональная металлогения СССР. – М.: Недра, 1974. – 240 с.
5. Козеренко В.Н. Эндогенная металлогения. – М.: Недра, 1981. – 279 с.
6. Щеглов А.Д. Региональная металлогения и космические исследования. // Основы металлогенического анализа. – М.: Недра, 1980. – С. 153-165.
7. Кинг Э. Космическая геология. – М.: Недра, 1979. – 378 с.
8. Смыслов А.А., Моисеенко У.И., Чадович Т.З. Тепловой режим и радиоактивность. – М.: Недра, 1979. – 191 с.
9. Пуляев Н.А. Рудоносность магматических комплексов центральной части Алдано-Станового щита // Материалы IX-ой Всероссийской научно-практической конференции «Геология и минерально-сырьевые ресурсы Северо-Востока России». – Якутск. ИГАБМ СО РАН, 2019. – С. 168-171.
10. Космическая геология // Материалы симпозиума НАСА по исследованию ресурсов Земли. Под ред. Кирюхина В.А. – Л.: Недра, 1979. – С. 85-176.
11. Толстов А.В. Главные рудные формации Севера Сибирской платформы. –М.: ИМГРЭ, 2006. – 212 с.
12. Соботович Э.В. Космическое вещество в земной коре. – М.: Атомиздат, 1976. – 160 с.

References

1. Dolivo-Dobrovolskiy A.V., Nikolaev V.F. Izuchenie slozhno dislocirovannykh kompleksov po aero- i kosmicheskim snimkam // Geologicheskaya s"emka slozhno dislocirovannykh kompleksov. – L.: Nedra, 1980. – S. 176-194.
2. Serokurov YU.N., Kalmykov V.D., Zuev V.M. Kosmicheskie metody pri prognoze i poiskah mestorozhdenij almazov. – M.: Nedra, 2001. – 198 s.
3. Ermakov V.I., Skorobogatov M.A. Teplovoe pole i neftegazonosnost' molodyh плит SSSR. – M.: Nedra, 1986. – 222 s.
4. Il'in K.B. Regional'naya metallogeniya SSSR. – M.: Nedra, 1974. – 240 s.
5. Kozerenko V.N. Endogennaya metallogeniya. – M.: Nedra, 1981. – 279 s.
6. SHCHeglov A.D. Regional'naya metallogeniya i kosmicheskie issledovaniya. // Osnovy metallogenicheskogo analiza. – M.: Nedra, 1980. – S. 153-165.
7. King E. Kosmicheskaya geologiya. – M.: Nedra, 1979. – 378 s.
8. Smyslov A.A., Moiseenko U.I., CHadovich T.Z. Teplovoj rezhim i radioaktivnost'. – M.: Nedra, 1979. – 191 s.
9. Pulyaev N.A. Rudonosnost' magmaticeskikh kompleksov central'noj chasti Aldano-Stanovogo shchita // Materialy IX-oy Vserossiyskoj nauchno-prakticheskoy konferencii «Geologiya i mineral'no-syr'evye resursy Severo-Vostoka Rossii». – Yakutsk. IGABM SO RAN, 2019. – S. 168-171.
10. Kosmicheskaya geologiya // Materialy simpoziuma NASA po issledovaniyu resursov Zemli. Pod red. Kiryuhina V.A. – L.: Nedra, 1979. – S. 85-176.
11. Tolstov A.V. Glavnye rudnye formacii Severa Sibirskoj platformy. –M.: IMGRE, 2006. – 212 s.
12. Sobotovitch E.V. Kosmicheskoe veshchestvo v zemnoj kore. – M.: Atomizdat, 1976. – 160 s.