

## С е к ц и я 8

# КОСМОГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

### РУДНЫЕ ПОЛЯ И МЕСТОРОЖДЕНИЯ ЦВЕТНЫХ, РЕДКИХ И БЛАГОРОДНЫХ МЕТАЛЛОВ ЦЕНТРАЛЬНОЙ АЗИИ В МАТЕРИАЛАХ СОВРЕМЕННЫХ КОСМИЧЕСКИХ СЪЕМОК

Ю.С. Ананьев, доцент

*Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск, Россия*

Последние десятилетия бурными темпами развиваются технологии космических съемок и обработки их материалов. Накоплен огромный массив цифровых данных дистанционных съемок различной детальности. Создаются новые средства и алгоритмы обработки цифровой информации. В настоящее время стали доступны все накопленные материалы, технические средства обработки цифровых изображений, которые можно успешно применять при геологических исследованиях.

Использование материалов космических съемок позволяет получать качественно новую информацию не только при геолого-съёмочных и прогнозно-поисковых работах, но и на детальных стадиях оценочных и разведочных работ. Это актуально не только для новых и малоизученных площадей, но и для известных рудных районов. Здесь можно рассчитывать, главным образом, на выявление скрытых объектов (глубоко залегающих и/или перекрытых рыхлыми отложениями). Следовательно требуется применение таких технологий, которые позволяют на начальном этапе в короткие сроки при минимальных затратах средств уточнить геологическое строение и значительно локализовать перспективные участки для постановки детальных работ комплексом глубинных методов.

В основу методологии применения материалов космических съемок (МКС) для целей геологических исследований положена связь особенностей объектов поверхности Земли с геологическим, в том числе глубинным строением и минерагенией. Важнейшими характеристиками МКС, отличающими их от наземных и отчасти аэроисследований, являются [4]: – объективность и метричность исходной информации; – обзорность, непрерывность и требуемая детальность; – естественная генерализация и повышенная глубинность; – высокая информативность, обусловленная получением данных в широком диапазоне спектра электромагнитного излучения; – возможность проведения исследований в труднодоступных районах, исследования трансграничных структур, находящихся на территории различных недропользователей; – высокая экспрессность, экологичность и относительно низкая стоимость.

Необходимо особо отметить, что в отличие от традиционно используемых в наземных и аэроисследованиях профильных наблюдений, которые характеризуются выборочной пространственной информативностью (в зависимости от ориентировки профилей), МКС азимутально равноинформативны. В связи с этим они позволяют, как правило, получать принципиально новую геологическую информацию даже на детально изученных площадях.

Велика роль МКС в выявлении и изучении глубинных и погребенных структур, что обусловлено их обзорностью, непрерывностью и естественной генерализацией. В зонах, контролирующей разгрузку глубинных флюидов, меняются спектральные характеристики горных пород, почв и растительности, особенно в инфракрасной области и ее тепловой части.

Современные МКС позволяют получать информацию в широком спектре от коротковолновой части видимого диапазона (0,3...0,4 мкм) до теплового (10...20 мкм) и радиодиапазона (п\*см) с малым, средним и высоким (< 1 м) пространственным разрешением. В разных диапазонах съемки геологические объекты и явления проявляются по-разному. Важно при этом учитывать природные условия региона работ – особенности рельефа, характер растительности, тип и мощность рыхлых отложений, обводненность, климатические особенности, наличие вечной мерзлоты и пр.

Следует подчеркнуть, что простая визуализация данных МКС, как правило, мало информативна, необходима целевая их обработка с использованием специальных пакетов программ и алгоритмов. Используемый ранее термин «космоснимки» не отражает сути современных космоматериалов. Правильнее говорить о материалах космических съемок.

В последнее время количество спутниковых съёмочных систем постоянно возрастает. Это создает весьма благоприятные условия для использования не только архивных данных, но и заказа оперативных съемок в режиме реального времени. В последнем случае возникает содержательная задача – определение оптимального вида МКС и наиболее информативного сезона съемки.

Наряду с задачами картографирования мелкого (1:5000000 – 1:500000) и среднего (1:200000 – 1:50000) масштабов, когда требуется невысокое пространственное разрешение, все больше задач решается при крупномасштабных (1:25 000 – 1:5 000) исследованиях. Для этого применяется комплекс методов, включающий МКС нескольких масштабов, разных спектральных диапазонов, при этом используются материалы различных съёмочных систем.

Многолетними исследованиями показана высокая эффективности использования МКС в геологоразведочных работах [4]. Наряду с этим, господствует представление о необходимости их применения на начальных этапах изучения территорий. Это исторически обусловлено возможностью (доступностью) использования мелкомасштабных МКС. В настоящее время в связи с бурным развитием съемок среднего и

высокого пространственного разрешения, существенным улучшением спектральных характеристик съемочной аппаратуры доказана высокая эффективность использования МКС на всех без исключения стадиях геологоразведочных работ вплоть до разведки, эксплуатации месторождений и мониторинга горных отводов. При этом на каждой стадии работ в зависимости от масштаба и решаемых задач необходимо использовать свой наиболее информативный комплекс МКС.

В Национальном исследовательском Томском политехническом университете разработкой технологий комплексов, обработки и анализа МКС для решения геологических задач в масштабах от 1:1000000 до 1:5000 занимается научно-инновационный центр космогеологических исследований «Космогеология». За 9 лет работы центром выполнены исследования прогнозного, поискового, оценочного и разведочного назначения (в том числе инженерно-геологические) на различные виды полезных ископаемых (алмазы, золото, уран, полиметаллы, каменные соли, нефть и др.) в различных структурах земной коры.

Так, на территории Рудного Алтая проведены прогнозные исследования от 1:500000 до 1:25000 масштабов. Составлена космоструктурная схема Российской и Казахской частей Рудного Алтая масштаба 1:500000. В качестве основных структурных элементов Рудного Алтая выделены: Главная тектоно-металлогеническая зона северо-западного простирания; тектонические линзы, входящие в состав Главной зоны; Северо-Восточная зона смятия (по В.П. Нехоршеву); деформационно-метаморфические рудоконтролирующие зоны; субширотные сбросо-сдвиговые структуры; кольцевые и дуговые структуры различного генезиса; прочие, осложняющие разрывные нарушения. Анализ размещения известных рудных районов позволяет констатировать, что все они располагаются в пределах главной тектоно-металлогенической зоны, в пределах деформационно-метаморфических («рудоконтролирующих» металлогенических) зон, в тенях давления тектонических линз, во внутренних частях вулканогенных или комбинированных кольцевых структур с радиусами 14..25 км. Полученные закономерности предлагается рассматривать как региональные критерии прогнозирования полиметаллических объектов Рудно-Алтайского типа. В детальных масштабах (1:50000 – 1:25000) изучены Зырянский, Лениногорский и Змеиногорский рудные районы. Показаны: сложное, линейно-блоковое строение для Зырянского рудного района; линзовидно-свиеватое для Лениногорского и Змеиногорского. При этом внутреннее строение отдельных рудных районов и полей аналогично рудноалтайской системе в целом, демонстрируя принцип самоподобия системы на различных иерархических уровнях, что проявляется в рисунке основных структурных элементов северо-западного простирания [4].

Выполненные нами детальные исследования масштаба 1:50000 части Ачитканского рудного района (северное Прибайкалье) показали, что здесь наблюдаются определенные закономерности в локализации золото-урановых рудопоявлений. Изученная площадь в основной своей части представляет собой западное пологопадающее крыло куполовидной Домугдино-Черепаниховской вулcano-тектонической структуры, осложненное стратовулканическими постройками более высоких порядков. Преимущественно развитые на участке работ отложения хибиленской свиты прорваны субвулканическими телами граносиенит и гранодиорит порфиров, расположение которых в целом согласуется с общей структурой вулcano-тектонической постройки. Участок работ ориентирован вдоль зоны Миньского глубинного разлома, имеющего субмеридионально-северовосточную ориентировку и осложненного разнонаправленными разрывными нарушениями более высоких порядков. Положение известных золото-урановых рудопоявлений (Парусное и др.) контролируется, как правило, узлами сопряжения субмеридионально-северовосточных, субширотных и северо-западных структур, а так же узлами сопряжения субмеридионально-северовосточных с дуговыми вулcano-купольными структурами. Выявленные закономерности рассматриваются в качестве критериев выделения рудоперспективных участков для постановки поисково-оценочных работ.

В пределах Валерьяновской структурно-формационной зоны (Северный Казахстан) на площади перекрытой мелководными морскими отложениями неогена значительной мощности (более 70 м), при выполнении прогнозно-поисковых работ масштаба 1:200000, дистанционными методами закартированы разрывные нарушения и интрузивные образования фундамента. Показано положение уникального цинкового месторождения Шаймерден в закартированных структурах. Кроме этого в аллохтонных отложениях откартировано более 220 км погребенных палеодолин двух разновозрастных групп [5]. Необходимо отметить, что с подобными палеодолинами в пределах северного склона Кустанайского вала связано инфильтрационное месторождение урана и в Джетыгаринском районе погребенные россыпи золота.

Выполнены разномасштабные работы на площади полиметаллического Безьямского рудного узла в пределах южного острова архипелага Новая Земля. Составлены космоструктурные схемы Безьямского рудного узла масштаба 1:100000 и участков Северный и Перевальный масштаба 1:5000. Показано сложное дисгармонично-складчатое строение площади рудного узла, обусловленное чередованием в стратиграфическом разрезе разнокомпетентных толщ. Пликативные структуры осложнены разрывными нарушениями одного структурного парагенезиса. Среди последних выделены соскладчатые продольные и диагональные сколовые, поперечные отрыва. К этому же складчатому структурному парагенезису отнесены локальные соскладчатые межслоевые срывы, которые достаточно широко проявлены на площади Безьямского рудного узла в участках сопряжения разнокомпетентных толщ. Предполагается, что такой комплекс тектонических структур формировался в условиях верхов мезозоны или низов эпизоны. Проявления рудной минерализации в пределах рудного узла пространственно совпадают с телами закартированных нами площадных метасоматитов предположительно хлорит-эпидотового состава. Для площадей участков Северный и Перевальный составлены детальные космоструктурные схемы на основе космических съемок высокого пространственного разрешения. На схемах показаны: стратифицированные образования, пликативные и дизъюнктивные тектонические структуры, проявления локальных метасоматитов. Сделан прогноз положения свинцово-цинкового оруденения, даны рекомендации по дальнейшему направлению оценочных работ.

Выполнен комплекс работ на площади Хиагдинского урановорудного поля. Наиболее крупной тектонической структурой площади является Байсыханское поднятие кристаллического фундамента. Хиагдинское рудное поле располагается на юго-восточном и северо-западном склонах поднятия, а размещение рудных залежей контролируется погребенными под платобазальтовым покровом палеодолинами, развивающимися на склонах поднятия. Урановое оруденение приурочено к неогеновым осадкам, выполняющим палеодолины. Основой для составления структурных схем Дыбынского, Намаруского, Кореткондинского и Хиагдинского месторождений послужили материалы спектрально-архивных съемок Landsat ETM+ и оперативных съемок, выполненных по нашему заказу, WorldView-2, GeoEye-1. В качестве дополнительных источников информации использованы цифровые модели рельефа по данным радарных съемок SRTM, AsterGDEM и материалы аэрогеофизических исследований, выполненных компанией «Аэрогеофизика». На площадях месторождений закартированы два структурных парагенезиса разрывных структур – ранний и поздний. К раннему структурному парагенезису отнесены разрывные нарушения субмеридионального и ортогональные структуры субширотного простирания. Разрывные нарушения позднего парагенезиса представлены северо-восточными и северо-западными структурами. Северо-восточные структуры определяют положение Байсыханского поднятия, а по северо-западным структурам фиксируются малоамплитудные смещения. По отдельным структурам определены амплитуды смещения. Погребенные ураноносные палеодолины достаточно уверенно фиксируются в материалах обработки тепловых и инфракрасных каналов под толщей платобазальтов. Они имеют юго-восточное и северо-западное направление. Их ширина варьирует от 370 до 970 м. Палеодолины являются боковыми притоками более крупной речной системы, а их заложение связано с развитием позднего структурного парагенезиса. Полученные структурные построения по месторождениям подтверждены результатами разведочных буровых работ [2].

На Жилинском месторождении калийных солей (Западный Казахстан) выполнены работы масштаба 1:10000 по дешифрированию комплекса космических данных Landsat ETM+, TerraAster, Ikonos с целью составления космоструктурной схемы и выявления главных рудоконтролирующих факторов. В результате установлено, что разрывные нарушения в пределах площади представлены дизъюнктивными трех направлений – северо-западного, север-северо-западного и субширотного. По отношению к складчатым структурам они занимают продольное, поперечное и диагональное положение. Определяющими разрывными нарушениями на площади месторождения являются структуры северо-западного простирания. Эти разрывные нарушения разбивают площадь месторождения на три блока – северный, центральный и южный. Центральный блок приподнят и максимально эродирован. В меньшей степени эродирован южный блок. В еще меньшей степени эродирован северный. В пределах центрального блока выделено и закартированы 4 маркирующих горизонта, по которым восстановлены складчатые структуры участка. Сопоставление полученных данных с данными сейсмометрических исследований показало их полную сходимость. Анализ полученных структурных построений показывает, что известные полигалитовые, сильвинитовые и сильвинит-карналитовые тела контролируются замковой частью и крыльями антиклиналей второго порядка. На основе выявленных закономерностей даны рекомендации по направлению разведочных работ в центральном и южном блоках [1].

Разномасштабные работы проведены в пределах Ортон-Федоровского золоторудного района в южной части Кузнецкого Алатау. Показано, что золоторудный район располагается в зоне сопряжения двух крупных тектонических структур северо-восточного и субмеридионального простирания. Северо-восточная зона по морфологическим признакам отвечает мезозональному типу структур с ярко проявленным фрактальным строением. Субмеридиональная зона нарушений, отвечающая зоне Кузнецко-Алтайского глубинного разлома, несет следы левосторонних хрупких смещений и является более молодой, чем северо-восточная зона. Детальные исследования, масштаба 1:25000, показали, что рудоносные структуры площади имеют северо-восточное простирание и представляют собой линейные зоны пластических деформаций, образующие в плане линзовидно-свилеватое строение. Жесткие линзы сложены, как правило, субвулканическими образованиями основного состава. Такие линзы окружены линейными зонами интенсивного динамометаморфизма, метасоматических преобразований с сопряженными линейно-штокерковым прожилкованием и стержневыми кварцевыми и кварц-карбонатными жилами. Полученные результаты учтены при дальнейшем изучении площади [3].

Таким образом, приведенные данные позволяют говорить о необходимости применения разномасштабных дистанционных исследований на всех этапах и стадиях геолого-разведочного производства.

#### Литература

1. Ананьев Ю.С., Поцелуев А.А., Житков В.Г., Кузнецов А.С., Фрейман Г.Г. Опыт использования материалов космических съемок при разведке Жилинского месторождения калийных солей // Технология геологоразведочных работ: Матер. Науч.-практич. конф. – Алматы, 2013. – С. 155 – 158.
2. Ананьев Ю.С., Поцелуев А.А., Новгородцев А.А., Мартыненко В.Г., Житков В.Г. Структуры месторождений Хиагдинского урановорудного поля в материалах мультиспектральных космических съемок // Радиоактивность и радиоактивные элементы в среде обитания человека: Матер. IV междунар. конф. – Томск: Изд-во ТПУ, 2013. – С. 48 – 52.
3. Житков В.Г., Поцелуев А.А., Ананьев Ю.С., Кондрин В.К., Белоножко Е.А. Структурная позиция Комсомольской площади Ортон-Бальксинского золоторудного района по материалам космических съемок // Развитие минерально-сырьевой базы Сибири: от Обручева В.А., Усова М.А., Урванцева Н.Н до наших дней: Матер. Всеросс. форума с междунар. участием, посвящ. 150-летию акад. Обручева В.А., 130-летию акад. Усова М.А. и 120-летию проф. Урванцева Н.Н. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2013. – С. 169–174.

4. Поцелуев А.А., Ананьев Ю.С., Житков В.Г. Дистанционные методы геологических исследований, прогноза и поиска полезных ископаемых (на примере Рудного Алтая). – Томск: СТТ, 2007. – 228 с.
5. Поцелуев А.А., Ананьев Ю.С., Житков В.Г. Картирование погребенных палеодолин и кор выветривания по материалам современных космических съемок // Россыпи и месторождения кор выветривания 2010: Матер. XIV междунар. совещания – Новосибирск: Изд-во «Апельсин», 2010. – С. 570 – 574.

## ДИСТАНЦИОННОЕ ЗОНДИРОВАНИЕ В ИЗУЧЕНИИ РУДНЫХ И НЕФТЕГАЗОВЫХ РАЙОНОВ СИБИРИ

Ю.С. Ананьев, доцент

*Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск, Россия*

Сибирь и Дальневосточные регионы являются главными источниками большинства полезных ископаемых добываемых в России. Здесь сосредоточены основные запасы золота, урана, алмазов, меди, никеля, алюминия, платиноидов, угля, нефти, газа и других полезных ископаемых. Помимо известных районов масштабные геологоразведочные работы ведутся на перспективных площадях в новых труднодоступных и малоосвоенных регионах.

Использование материалов космических съемок (КС) здесь весьма актуально, в том числе на изученных и опосредованных наземными методами площадях. Здесь можно рассчитывать, главным образом, на выявление скрытых рудных объектов. Следовательно требуется применение инновационных технологий, которые позволяют на начальном этапе в короткие сроки при минимальных затратах средств значительно локализовать перспективные площади для постановки детальных поисковых и оценочных работ комплексом глубинных методов.

Очевидными преимуществами материалов ДЗЗ являются многие параметры [3]. Но необходимо подчеркнуть, что в отличие от традиционно используемых в геологии профильных наблюдений, которые характеризуются выборочной пространственной информативностью (в зависимости от ориентировки профилей), материалы КС равно азимутально информативны. В связи с этим они позволяют, как правило, получать принципиально новую геологическую информацию даже на детально изученных площадях.

В последнее время количество спутниковых съемочных систем постоянно возрастает и практически удваивается ежегодно. Это создает весьма благоприятные условия для использования не только архивных данных КС, но и заказа оперативных съемок в текущем режиме. В последнем случае возникает содержательная задача – определение оптимального вида КС и наиболее информативного сезона съемки.

Современные мультиспектральные данные позволяют получать информацию в широком спектре от коротковолновой части видимого диапазона (0,3-0,4 мкм) до теплового (10-20 мкм) и радиодиапазона ( $n \cdot \text{см}$ ) с малым ( $>30$  м), средним (30-10 м) и высоким ( $<1$  м) пространственным разрешением. В разных диапазонах КС геологические объекты и явления проявляются по-разному. В одних случаях предпочтительна съемка в каких-то участках видимого диапазона, в других случаях более информативны различные каналы ИК и теплового диапазонов [3].

Для решения многих геологических задач применяется комплекс методов, когда используются данные КС нескольких масштабов, разных спектральных диапазонов, при этом используются материалы различных съемочных систем.

В Национальном исследовательском Томском политехническом университете разработкой технологий обработки и дешифрирования современных мультиспектральных космических снимков для решения геологических задач занимаются в центре дистанционных методов исследований и мониторинга окружающей среды. Сотрудниками центра проведены разномасштабные работы (1:500000 – 1:5000) в Горном (Калгутинский редкометалльный район) и Рудном Алтае (Зыряновский и Лениногорский полиметаллические районы), в Западной Калбе (район золоторудного месторождения Бакырчик), в Восточной (Бодайбинский золоторудный, Аkitканский золото-урановорудный и Витимский урановорудный районы), Центральной (Ванкорский нефтегазоносный район) и Западной Сибири (Ортон-Федоровский золоторудный и Усинский районы), Северном Казахстане (Валерьяновская СФЗ) [1, 2, 4]. Изученные районы значительно отличаются по природным условиям – типу рельефа, характеру биоклиматических зон, степени обнаженности, составу и мощности рыхлых перекрывающих отложений, геокриологическим условиям. В каждом конкретном случае возникает задача комплексирования материалов различных КС. Проведенными исследованиями показана высокая геологическая информативность ДЗЗ во всех природных обстановках.

Выполняемые исследования позволили доказать на многочисленных примерах, что материалы ДЗЗ позволяют решать геологические задачи на всех без исключения этапах и стадиях геологоразведочных работ. От прогноза до разведки и освоения месторождений. При этом на каждой стадии работ в зависимости от масштаба работ и решаемых задач необходимо использовать свой наиболее информативный комплекс материалов ДЗЗ.

Установлены закономерности размещения известных рудных районов и месторождений в участках сопряжения разноориентированных линеаментов с кольцевыми структурами, имеющими глубинную природу. Впервые показано блоковое строение некоторых районов. Выделены очаговые структуры, оказывающие закономерное влияние на размещение полезных ископаемых. На значительных площадях (до 2500 км<sup>2</sup>), перекрытых мощными аллохтонными отложениями, изучено геологическое строение фундамента и выявлены элементы рудоконтроля погребенных месторождений.

Установлены ранее не известные (в том числе не обнаруженные наземными и аэро-работами) элементы геологического строения, имеющие важное минерагеническое значение. Получены принципиально новые данные о характере структур ряда районов и рудных полей, уточнены границы интрузивных тел и характер их