

# ПРОГНОЗ И ОЦЕНКА МЕСТОРОЖДЕНИЙ ТВЕРДЫХ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СОВРЕМЕННЫХ КОМПЬЮТЕРНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ



УДК [528.85:004.9]:553.411 (571.51) © В.С.Антипов, Е.А.Журавлев, К.А.Волин, С.А.Абушкевич, 2012

## ВЫЯВЛЕНИЕ КОСМОГЕОЛОГИЧЕСКИХ ПРИЗНАКОВ РУДОПЕРСПЕКТИВНОСТИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ИНТЕРАКТИВНЫХ КОМПЬЮТЕРНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В СРЕДЕ ГЕОИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ (НА ПРИМЕРЕ ИЗУЧЕНИЯ ЭТАЛОННЫХ ЗОЛОТОРУДНЫХ ОБЪЕКТОВ ЕНИСЕЙСКОГО КРЯЖА)

**В.С.Антипов, Е.А.Журавлев, К.А.Волин, С.А.Абушкевич (ГУП «НИИКАМ»)**

*Рассмотрено применение современных компьютерных технологий в целях выявления космогеологических (структурных и спектральных) признаков рудоперспективности по данным анализа многоспектральных космических съемок центральной части Енисейского кряжа. Обоснованы космоструктурные и спектральные признаки перспективности для прогноза золоторудных узлов и полей, с их использованием выявлены три новых золотоперспективных участка.*

*Ключевые слова: информационные технологии, дистанционное зондирование, признаки золотоперспективности.*

*Антипов Вадим Сергеевич, [vniiikam@mail.ru](mailto:vniiikam@mail.ru), Журавлев Евгений Александрович, [zhev@bk.ru](mailto:zhev@bk.ru), Волин Кирилл Артемович, [sv-volin@yandex.ru](mailto:sv-volin@yandex.ru), Абушкевич Сергей Антонович, [niicosm\\_as@mail.ru](mailto:niicosm_as@mail.ru)*

## SPACE GEOLOGICAL IDENTIFICATION OF ORE PROSPECTIVE BY USING INTERACTIVE COMPUTER TECHNOLOGIES IN GIS (ON THE EXAMPLE OF THE STUDY OF YENISEI RIDGE GOLD-STANDARD OBJECTS)

**V.S.Antipov, E.A.Zhuravlev, K.A.Volin, S.A.Abushkevich**

*The application of modern computer technologies to identify space geological (structural and spectral) characteristics of gold mining prospects according to the analysis of multispectral space images of the Yenisei Ridge central part. Substantiated space geological and spectral characteristics to predict the prospects of gold mining sites and fields, and using these features identified three new gold mining prospective sites.*

*Key words: information technology, remote sensing, gold mining prospect characters.*

В настоящее время благодаря применению современных компьютерных информационных технологий удается в реальные сроки выявить и проанализировать информативные компоненты, содержащиеся в массиве большого количества многоспектральных космических снимков (КС), ранее же приходилось довольствоваться одним, иногда несколькими. Сейчас имеется возможность и осознана необходимость анализа многих многоспектральных КС. Анализ большого количества космических снимков обусловлен не только (и не столько) поиском снимков, свободных от облаков и снежного покрова, а также других мешающих факторов, сколько выявлением снимков того сезона, при котором результаты съемки наиболее благоприятны для решения поставленной задачи. Такими могут быть снимки любого сезона. Использование разновременных (полихронных) КС может быть также связано с высокой степенью нарушенности площади работ разного возраста. В таких случаях приходится вести поиск космических снимков, полученных до

появления антропогенного воздействия, до возникновения ландшафтных пожаров или искать информативные компоненты, для которых эти воздействия не критичны при прогнозных построениях.

При анализе материалов космических съемок (МКС) в зависимости от характера решаемых геологических задач выбираются наиболее подходящие программные продукты, составляющие основу компьютерной технологии. Так, при структурном дешифрировании удобнее работать в программе ArcMap, являющейся компонентом программного продукта ArcGis, а при анализе спектральных особенностей — в среде ER Mapper. На базе этих программных продуктов формируется и применяется в интерактивном режиме комплекс операционно-аналитический ГИС (КОАГИС), использующий специальным образом подготовленные МКС, картографические материалы геологического содержания, топографические карты. Эти материалы должны подготавливаться в соответствующих форматах, топографо-геодезической системе координат.

Использование КОАГИС при выявлении космогеологических признаков рудоперспективности по данным анализа материалов космических съемок проиллюстрировано на примере работ в центральной части Енисейского кряжа. В качестве эталонов исследованы рудные узлы и поля, содержащие крупные и средние месторождения золота центральной части Енисейского кряжа. Это Верхне-Енашиминский, Перевальнинский и Ведугинский рудные узлы, в пределах которых находятся золоторудные месторождения Благодатное, Титимухта, Олимпиада, Эльдорадо, Ведугинское и вмещающие их рудные поля. Анализировались МКС Landsat MSS, TM, Landsat ETM+ за период 1972–2009 гг.

Космоструктурные особенности, характерные для золоторудных узлов, выявлены при дешифрировании МКС в м-бе 1:200 000. В результате составлены космоструктурные прогнозные модели золоторудных узлов и сформированы среднемасштабные космоструктурные признаки золотоперспективности. Структурные особенности рудного узла, в пределах которого расположено Олимпиадинское месторождение золота, представлены в альбоме [3]. Согласно указанной публикации для рудного узла характерны разломы северо-западного простирания, субширотные разломы, купольные (кольцевые) структуры, выявленные по данным дешифрирования космических снимков. Космоструктурное дешифрирование м-ба 1:200 000 подтвердило и уточнило эти сведения. По данным дешифрирования субширотные и северо-западные разломы, кольцевые и дуговые структуры (с радиусом кривизны 1,5–6 км) характерны для Перевальнинского, Ведугинского, северной (месторождения золота Титимухта, Благодатное) и южной (месторождение Олимпиада) частей Верхне-Енашиминского рудных узлов. В качестве примера приведены результаты дешифрирования и космоструктурная прогнозная модель Перевальнинского рудного узла (рис. 1, Б\*). На основании выполненных работ установлено, что типовыми элементами космоструктурных прогнозных моделей золоторудных узлов рассматриваемой территории являются разломы северо-западного и субширотного простираний, кольцевые и дуговые структуры с радиусом кривизны 1,5–6 км. Они могут служить комплексным среднемасштабным признаком золотоперспективности для выявления перспективных участков в ранге потенциальных рудных узлов.

Дешифрирование МКС в м-бе 1:50 000 в пределах рудных полей, содержащих вышеуказанные

месторождения, выявило большое количество субширотных и северо-западных разломов и наличие дуговых и кольцевых структур с радиусом кривизны 0,2–1,5 км (рис. 2, Б, 3, Б, 4, Б; см. рис. 1, В). Поэтому в качестве комплексного космоструктурного крупномасштабного признака золотоперспективности принято сочетание большого количества разломов северо-западного и субширотного простираний, кольцевых и дуговых структур с радиусом кривизны 0,2–1,5 км.

В результате обработок МКС разных лет и сезонов съемки, выполненных в КОАГИС, рассчитаны соотношения интенсивностей сигналов, регистрируемых различными каналами, в том числе RGB-композициями, и стандартные индексы. При сопоставлении металлогенической информации с результатами этих обработок установлены аномалии спектральной яркости. «Аномалии спектральной яркости» — это понятие, охватывающее класс аномалий, получаемых при обработке яркостной характеристики изображения материалов дистанционного зондирования (как отдельных каналов съемки, их соотношений, так и при расчете RGB-композиций, индексов и при других межканальных преобразованиях). Такие аномалии свойственны изучаемым золоторудным узлам и полям, они выявлены (см. рис. 1–4) при расчете нормализованного относительного (разностного) вегетационного индекса (NDVI — показателя количества фитомассы (растительности). NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) — один из самых используемых индексов при решении задач, связанных с использованием количественной оценки растительного покрова. Он вычисляется по формуле:

$$NDVI = \frac{B_{ИК} - B_{К}}{B_{ИК} + B_{К}}$$

где  $B_{ИК}$  — яркость в ближней инфракрасной зоне (фиксируется в четвертом канале КС Landsat TM, ETM+ в интервале 0,76–0,90 мкм);  $B_{К}$  — яркость в красной зоне (фиксируется в третьем канале КС Landsat TM, ETM+ в интервале 0,63–0,69 мкм).

Происхождение аномалий спектральной яркости этого типа (вегетационные аномалии спектральной яркости) объясняется следующим образом. Месторождения располагаются в пределах многократно активизировавшихся зон, участков повышенной трещиноватости, что фиксируется большим количеством разломов, в том числе неотектонических и постнеотектонических. Зоны, участки повышенной трещиноватости использует

\* Рис. 1–4 см. цветную вкладку.

(и использовал в геологическом прошлом) восходящий тепломассоперенос, который сопровождается перемещением вверх глубинных вод, газов, тепла. В их пределах формируется особый микроклимат, в связи с чем растительность приобретает специфические черты, что фиксируется NDVI. Ранее наличие повышенного современного восходящего тепломассопереноса на площади рудных узлов, зон, полей, содержащих месторождения твердых полезных ископаемых, в том числе золоторудные, было установлено по данным специализированных геофизических, геохимических работ и тепловой космической съемки [1]. Использование NDVI позволяет обнаруживать участки возможного проявления на земной поверхности повышенного современного восходящего тепломассопереноса с высокой детальностью без проведения полевых работ.

Космоспектральные признаки перспективности, свойственные золоторудным узлам и полям Енисейского кряжа, выявлены при анализе МКС Landsat TM (дата съемки 18.08.1989 г.). Двумя сценами этой космической съемки охвачена территория, включающая площади эталонных золоторудных узлов и полей. Анализ материалов показал, что для территории рудных узлов с крупными и средними (иногда мелкими) по запасам месторождениями золота характерны ареалы аномальных и повышенных значений спектральной яркости (NDVI). При этом аномальные значения спектральной яркости формируют ареалы меньшей площади и контролируют размещение рудных полей. Ареал аномальных и повышенных значений NDVI над Перевальнинским рудным узлом (см. рис. 1, А) занимает центральную с промышленной золотоносностью часть узла, контуры которого показаны по данным ОАО «Красноярскгеолсъемка» (2009 г.). Из двух ареалов, где сосредоточены аномальные значения NDVI, в пределах западного находятся Пролетарское месторождение золота и несколько более мелких золоторудных объектов, а в пределах восточного — месторождение Эльдorado и два участка с космогеологическими признаками золотоперспективности (структурными и спектральным). Один из участков расположен на расстоянии 1–3 км к востоку от южной оконечности четвертой (восточной) жильной зоны месторождения Эльдorado, другой — в 1,5–3,5 км к северо-востоку от северной оконечности зоны. В монографии [4] эти два участка не рассматриваются как золотоперспективные, что, возможно, связано с отсутствием в их пределах детальных поисковых работ.

Аналогично Перевальнинскому в упомянутых ранее и других золоторудных узлах Енисейского кряжа локальные аномалии NDVI выявлены в не-

посредственной близости от рудных зон (см. рис. 1, А) или на расстоянии от них до 0,5 км (см. рис. 2–4). Возможной причиной выявления аномалий спектральной яркости на некотором удалении от рудных зон является изменение движения восходящего тепломассопереноса от субвертикального к наклонному (до латерального) в направлении наименьшего сопротивления с выходом на дневную поверхность в условиях горного рельефа на склонах, близ подножия гор. Примечательна аномалия NDVI, расположенная в 3–3,5 км к юго-востоку от месторождения Титимухта, на участке пересечения многочисленных субширотных и северо-западных разломов в пределах небольшой кольцевой структуры (см. рис. 3). При планировании поисковых работ следует учесть выявленные структурные признаки перспективности участка, по данным работы [4] не относящегося пока к золотоперспективным.

В соответствии с изложенным наличие ареала аномальных и повышенных значений спектральной яркости, аналогичного выявленным над известными рудными узлами, — среднемасштабный космоспектральный признак перспективности, а ареала аномальных значений NDVI — признак перспективности для выделения рудных полей.

Выполненные работы позволили сформулировать космогеологические признаки перспективности для прогноза золоторудных узлов и полей в центральной части Енисейского кряжа.

По данным среднемасштабных работ признаки для выявления перспективных участков на золото в ранге потенциальных рудных узлов — это узлы пересечения разломов и зон разломов северо-западного и субширотного простираний; кольцевые и дуговые структуры с радиусом кривизны 1,5–6 км; ареалы повышенных и аномальных значений NDVI, установленные по данным обработки КС Landsat TM (съемка 18.08.1989 г.).

По данным крупномасштабных работ признаки для выявления перспективных участков на золото в ранге потенциальных рудных полей — это узлы пересечения большого количества субширотных и северо-западных разломов; кольцевые и дуговые структуры с радиусом кривизны 0,2–1,5 км; ареалы аномальных значений NDVI, установленные по данным обработки КС Landsat TM (съемка 18.08.1989 г.).

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Антипов В.С.* Науэнтодинамика и минерация, постспутниковая оценка возможного рудоресурсного потенциала недр // Руды и металлы. 2006. № 6. С. 58–65.
2. *Месторождения золота Олимпиада и Благодатное.* Северо-Енисейский район. Красноярский край.

- Российская Федерация. Аудит минеральных запасов (подготовлен для ЗАО «Полюс»). Майкон Интернешенел Ко Лимитед, 2006 / [www.polyusgold.com](http://www.polyusgold.com).
3. *Многофакторные* поисковые модели золоторудных месторождений / Отв. ред М.М.Константинов, В.А.Нарсеев. – М.: ЦНИГРИ, 1989.
4. *Модели* месторождений золота Енисейской Сибири / С.С.Сердюк, Ю.Е.Коморовский, А.И.Зверев и др. – Красноярск: Город, 2010.
-