

Бокова Наталья Викторовна

студентка,
Казанский (Приволжский) федеральный
университет, Институт геологии и
нефтегазовых технологий
420008, г. Казань, ул. Кремлевская 4/5,
Тел. +7927- 675-46-67,
e-mail: natalya_bokova@bk.ru

Федорченко Диана Геннадьевна

студентка,
Казанский (Приволжский) федеральный
университет,
Институт геологии и нефтегазовых технологий
420008, г. Казань, ул. Кремлевская 4/5,
Тел. +7952-047-01-32,
e-mail: di.fedorchenko@gmail.com

Нугманова Екатерина Владимировна

кандидат геолого-минералогических наук,
Казанский (Приволжский) федеральный
университет, Институт геологии и нефтегазовых
технологий, ассистент
420008, г. Казань, ул. Кремлевская, 4/5
Тел. +7(962)5485894,
e-mail: Ekaterina.Eronina@kpfu.ru

**МЕТОДИЧЕСКИЕ ПРИЕМЫ
ГЕОЛОГИЧЕСКОГО ДЕШИФРИРОВАНИЯ
МУЛЬТИСПЕКТРАЛЬНЫХ
КОСМИЧЕСКИХ ИЗОБРАЖЕНИЙ (НА
ПРИМЕРЕ КОНДЁРСКОГО МАССИВА)**

Аннотация:

В статье представлены результаты исследования информативности данных дистанционного зондирования для решения задач геоморфологического картографирования и опоискования твердых полезных ископаемых. Установлены оптимальные критерии подбора материалов для создания дистанционной основы геологической карты среднего масштаба. Результаты исследования позволили наметить перспективные участки, которые могут быть рекомендованы для проведения детализации на стадии доразведки.

Ключевые слова: данные дистанционного зондирования земли, геоморфология, Кондёрский массив, дешифрирование.

Bokova, Natalya V.,

4th year student, the Institute of Geology and Petroleum Technologies,
Kazansky Federal University
4/5 Kremlyovskaya Street,
Kazan 420008, Republic of Tatarstan, Russia
Tel. +7927-675-46-67,
e-mail: natalya_bokova@bk.ru

Fedorchenko, Diana G.,

4th year student,
the Institute of Geology and Petroleum Technologies, Kazan Federal University
4/5 Kremlyovskaya Street,
Kazan 420008, Republic of Tatarstan, Russia
Tel. +7952-047-01-32,
e-mail: di.fedorchenko@gmail.com

Nugmanova, Ekaterina V.,

Candidate of Geology and Mineralogy,
Senior Professor of Geophysics and Geo-information Technology department. The Institute of Geology and Petroleum Technologies,
Kazansky Federal University
18 Kremlyovskaya Street, Kazan 420008,
Republic of Tatarstan, Russia
Tel. +7(962)5485894,
e-mail: Ekaterina.Eronina@kpfu.ru

**MULTISPECTRAL SATELLITE IMAGERY
INTERPRETATION TECHNIQUE FOR GEO-
LOGICAL PURPOSES (CASE STUDY OF
KONDJOR MASSIF)**

Abstract:

The results presented in the study show the potential usefulness of remote sensing data for geomorphological mapping and mineral exploration. A set of optimal criteria for digital, medium-scale geological map preparation has been established. The results of the researches permitted to map out new areas that could be advised for performing detailed field survey at the stage of finishing exploration.

Key words: the Earth remote sensing data, geomorphology, Kondjor Massif, image interpretation technique.

Геологическое дешифрирование по материалам дистанционного зондирования (ДЗ) – аэрофото- и космическим снимкам – является неотъемлемой частью геологоразведочных работ как на этапе региональных исследований, так и на участках детализации с выявленными запасами полезных ископаемых [1, 2, 3]. Первично дистанционную основу геологической съемки составляли материалы аэрофотосъемки, полученные при съемке как с борта самолета, так и с космических спутников околоземной орбиты. Однако прогресс в области космического кораблестроения привел к тому, что за послед-

ние 20 лет на орбиту было выведено более 30 космических аппаратов, качество материалов которых не только не уступало, но и в ряде случаев превосходило материалы аналоговой съемки [4, 5]. Речь идет о долгосрочных космических программах Американского и Европейского космических агентств, таких как Landsat, Terra, JERS, ERS. Эти данные стали доступны широкому кругу специалистов ввиду их свободного распространения, что привело к разработке специализированных алгоритмов и программ, направленных в том числе и на решение геологических задач [2, 4, 5].

Объект и методы исследования. Задачей исследования было создание дистанционной основы листа геологической карты с номенклатурой О-53-XXI с последующим изучением информативности материалов космической съемки для геологического дешифрирования. В работе использовались как традиционные подходы визуального дешифрирования, так и автоматизированные алгоритмы и методики.

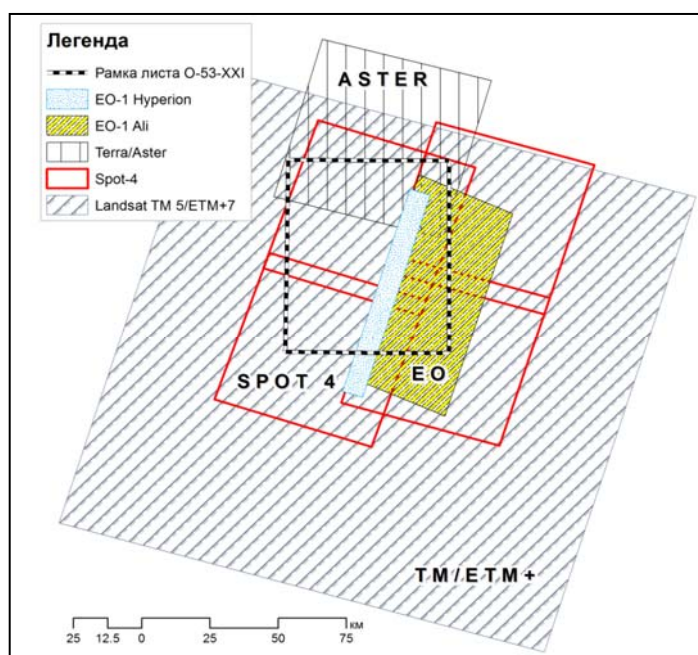
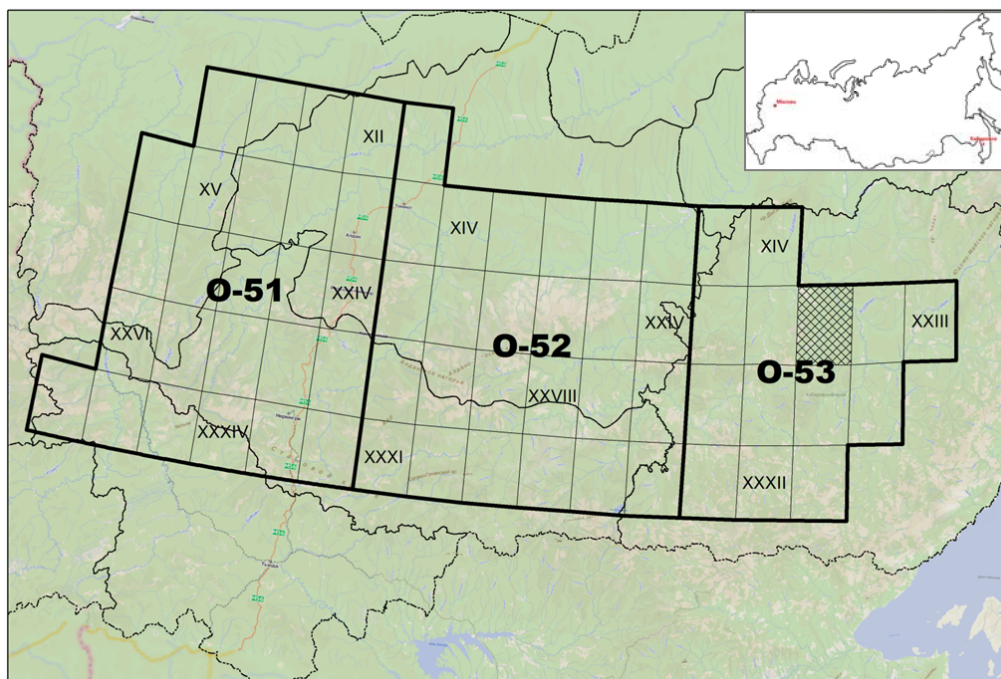
Территория исследования расположена в Аяно-Майском районе Хабаровского края (рис. 1). В пределах номенклатурного листа О-53-XXI масштаба 1:200000 расположено уникальное месторождение платины – Кондёрский массив щелочно-ультраосновных пород, разработка которого ведется с конца 70-х годов XX века. В рельефе массиву соответствует одноименный хребет Кондёр, который известен прежде всего из-за своей почти идеальной кольцеобразной формы диаметром около 8 км при высоте от 1200 до 1387 м. Петрографический состав включает щелочные пегматиты, диориты, диоритосиениты, меланократовые диориты, косьвиты, пироксениты, перидотиты, дуниты, а также магнетит-биотит-пироксенитные и магнетит-амфибол-пироксеновые породы, образующие поля линзовидных тел и даек. Центральная часть массива сложена преимущественно дунитами, площадь которых составляет около 6 км² [6, 7]. Запасы платиноидов и драгоценных металлов на месторождении Кондёр исчисляются сотнями тысяч тонн, что определяет объект исследования как стратегически важный для экономики России.

Современный рельеф сформировался под действием денудационно-эрозионных процессов, интенсивность проявления которых была обусловлена новейшими тектоническими движениями четвертичного периода, а также составом и строением субстрата.

Новейшие тектонические движения проявились в виде общего слабо дифференцированного поднятия всей территории, на фоне которого происходила локальная деформация поверхности с образованием более мелких структур [7].

В качестве материалов дистанционной основы были использованы безоблачные снимки, полученные съемочными системами Landsat ETM+ (2 снимка) и Landsat TM (4 снимка), Terra/ASTER (1 сцена), EO-Ali/Hyperion (2 сцены), также 4 снимка SPOT для создания ортофотоплана мозаики (рис. 2). В работе использовалась как цифровая модель рельефа (ЦМР), полученная путем векторизации топографической основы листа О-53-XXI, так и ЦМР SRTM (пространственное разрешение 90 м). В качестве программного обеспечения для работы с данными ДЗ использовалась система ArcGIS Desktop, ENVI, WinLESSA самых последних версий.

Этап визуального дешифрирования заключался в подборе оптимального синтеза спектральных каналов с последующим их представлением в виде RGB-композиата [2, 4, 5]. Процедура выбора каналов, используемых для синтеза, непосредственно сопряжена с сопоставлением космической информации с данными геологической карты. Устойчивой и эффективной считалась та комбинация, которая отражает петрографический состав одного стратиграфического возраста по всей площади снимка. При использовании стереоскопических свойств пары космических снимков Terra ASTER была создана ЦММ высокого разрешения и проведены работы по трехмерному геологическому картографированию [8].



Автоматическое индексное дешифрирование основано на различиях яркости природных объектов в двух или нескольких частях спектра. Такие индексы хорошо разработаны для спектральных каналов космической системы Landsat и достаточно подробно описаны в ряде литературных источников [9]. Современные программные продукты для обработки данных ДЗЗ (ENVI, ERDAS) содержат большинство указанных алгоритмов, что позволяет с легкостью получать готовые для классификации (экспертной интерпретации) тематические карты.

Используя программу WinLESSA [10, 11, 12], провели автоматизированный расчет линейментов по ЦМР, а также по космическому снимку (средний ИК, 1.5 – 2.2 мкм).

Результаты и обсуждение. На этапе визуального дешифрирования были определены наиболее информативные комбинации спектральных каналов. Синтез следующих каналов (по данным Landsat ETM+/TM) достоверно отражает содержание геологической карты: **4-5-1** – отчетливо проявлено радиально-концентрическое строение Кондёрского массива и геологические границы толщ горизонтально залегающих пород между омнинской (Pt₃ on) и эннинской (Pt₃ en) свитами (рис. 3, слева).

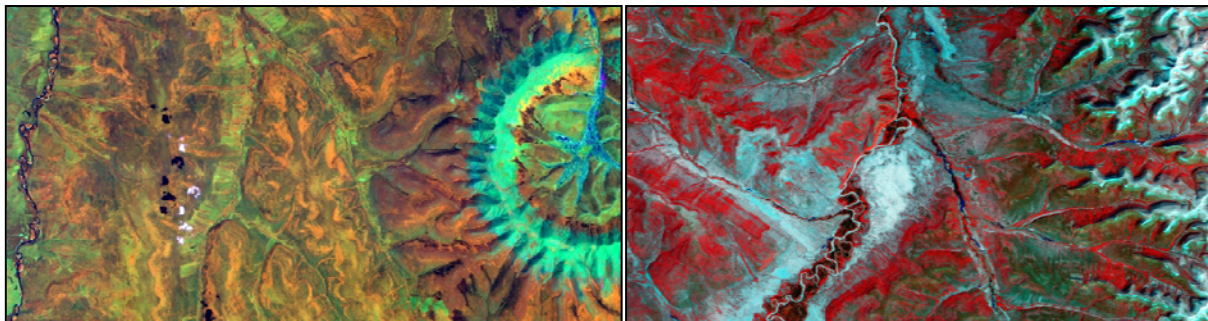


Рис. 3 – Синтез спектральных каналов по данным спутника Landsat TM

Композит каналов **5-4-2** – участки надпойменных террас крупных рек (Q_{IV}) – отображаются светлым фототонном и имеют шероховатую текстуру, что отличает их от других морфологических элементов долин. **5-7-1** – выделяются русла временных водотоков и пути сноса пролювиального материала (рис. 3, справа). В стереоскопическом режиме были закартированы пролювиальные конусы выноса, надпойменные террасы, шлейфы осыпания и обвалы (Q¹_{III} и Q²_{III}) – потенциальные участки поисковых работ на россыпное золото и платину. Достаточно отчетливо в этом режиме выделяются разломы и оперяющие трещины.

Хорошо известно, что в практике геологического дешифрирования широко применяется стереозэффект, получаемый при работе с парой перекрывающихся аэрофотоснимков на зеркальном стереоскопе. За счет бинокулярного зрения рельеф выглядит на такой паре в преувеличенном вертикальном масштабе, что повышает четкость изображения в 1,5 – 2 раза [13]. В таком режиме легко дешифрируются элементы разломной тектоники, которые не всегда столь однозначны на одиночном снимке. Искусственное превышение стереомодели позволяет отличать аккумулятивные формы рельефа, созданные деятельностью временных водотоков, – пролювиальные конусы выноса от аллювиальных речных террас.

Еще одной полезной особенностью цифровой стереомодели является возможность быстрого создания псевдостереозэффекта или обращенного рельефа. В таком случае возвышенности становятся низменностями, а более низкие отметки рельефа выглядят как горные хребты. Использование такого режима позволяет изучать развитие речных долинных комплексов рек, выделять элементы долин и характер линейной эрозии на породах различного литологического состава.

Наибольшее количество индексов, рассчитываемых автоматически средствами программы ENVI, предназначено для дешифрирования зеленой вегетирующей растительности и отделения ее от других объектов. Был использован метод «колпачок с кисточкой» (Tasseled Cap), что позволило разделить растительность и открытые поверхности. Следует отметить, что наибольшей информативностью и практической ценностью для анализа стал индекс минерального композита, так как каждый канал RGB-композита соответствует определенной литологической разности, а цветовые переходы показывают на соотношение между ними.

Интересные результаты были получены при интерпретации роз-диаграмм линейных элементов: линии вытянутости, особенно ортогональные линии, позволяют оконтурить все известные кольцевые структуры в пределах листа – массивы Кондёрский, Одолин-

ский, Облачный, а также получить информацию о новейших тектонических впадинах, выраженных в рельефе центростремительным рисунком речной сети. Статистическая информация о линеаментах, представленная в виде плотности штрихов, роз-диаграмм в окне, линий вытянутости роз и ортогональных линий позволяет говорить о высокой сходимости результатов автоматизированного линеamentного анализа с априорной геологической информацией. Новой является информация о трещинной тектонике, полученная путем сопоставления космолинеamentов и линеamentов рельефа методами буферного наложения в геоинформационной системе ArcGIS. Линейно вытянутые и площадные участки высокой трещиноватости могут рассматриваться как транзитные зоны минерального флюида.

На основе ЦМР были построены карта уклона рельефа, а также карты вертикальной и горизонтальной расчлененности, что позволило провести углубленный морфометрический анализ территории. Целью анализа было создание синтетической карты геоморфологического районирования (рис. 4). Используя инструменты геоинформационной системы ArcGIS –

переклассификацию и оверлейные операции с растрами – были выделены как морфоструктуры унаследованного тектонического развития, так и аструктурные поверхности экзодинамического генезиса.

Закключение. Наш первый опыт обработки данных ДЗЗ для решения реальных геологических задач доказывает, что материалы дистанционного зондирования космической съемки не претендуют на полную замену ручного дешифрирования, но все же существенно облегчают интерпретацию геологического дешифрирования и особенно актуальны для районов с неотектонической и современной активностью, к которым относится и Кондёрский массив. Возможности программных пакетов по обработке данных ДЗЗ- и ГИС-технологии позволили провести комплексный анализ имеющейся дистанционной информации, соответствующей этапу рекогносцировочных работ, и наметить потенциально перспективные участки для поисков россыпных месторождений.

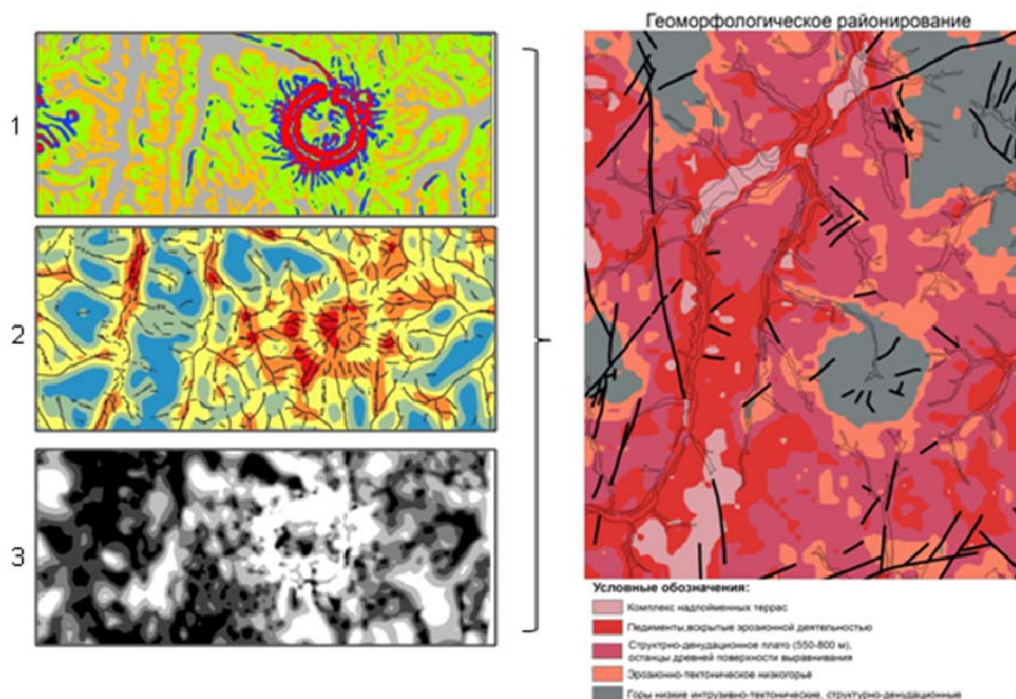


Рис. 4 – Морфологические характеристики рельефа и анализ синтетической карты геоморфологического районирования:

- 1 – карта углов наклона рельефа (0 – 15 градусов),
- 2 – карта эрозионного расчленения (0 – 1,4 м/км²),
- 3 – карта глубины эрозионного вреза (0 – 500 м)

Литература

1. Аэрометоды геологических исследований / ред. В.К.Еремин; лаб. аэрометодов МГ СССР. - Л.: Недра, 1971. - 704 с.
2. Корчуганова Н.И. Дистанционные методы геологического картирования / Н.И. Корчуганова, А. К. Корсаков. - М.: Издательство «КДУ», 2009. - 288 с.
3. Ануфриев А.М. Аэрокосмометоды в геологии: курс лекций / А.М.Ануфриев. - Казань, Изд.-во КГУ, 2007. - 87 с.
4. Серебряков В.Б. Применение космических данных в комплексе поисковых работ на нефть и газ / В. Б. Серебряков // Инф. бюллетень ГИС-Ассоциации. – 2008. – № 1 (63).
5. Image interpretation in geology / S.A. Drury. - 2nd edn. - L.: Chapman & Hall, 1993. - 275p.
6. Авдонцев С.Н. Петрология щелочно-ультрамафитовых массивов Кондерского комплекса (восточная часть Алданского щита): автореф. дис. ... канд. геол.-минер. наук / С.Н. Авдонцев. - Д., 1989.
7. Шпак Н.С. Объяснительная записка к геологической карте СССР листа О-53-XXI, масштаб 1:200000 / Н.С. Шпак, А.С. Сурикова. – М., 1980. – 99 с.
8. Справочное руководство Field Guide. Copyright (C) 2005 ERDAS, Inc. All right reserved.: пер. на рус. яз. – М.: Изд-во Дата+, 2009. – 707 с.
9. Crist E.P. and Kauth R.J. The Tasseled Cap De-Mystified // Photogrammetric Engineering & Remote Sensing. - 1986. – 52 (1). – P. 81-86.
10. Златопольский А.А. Особенности определения направления естественных объектов и текстур по растровым дистанционным данным / А.А. Златопольский // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. – М.: ООО «Азбука-2000», 2007. - Вып. 4. - Т. 1. – С. 52 - 56.
11. Златопольский А.А. Методика измерения ориентационных характеристик данных дистанционного зондирования (технология LESSA) / А.А. Златопольский // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. – М.: Изд-во ООО «Азбука», 2008. – Вып. 5. – Т. 1. – С. 102 – 112.
12. Златопольский А.А. Новые возможности технологии LESSA и анализ цифровой модели рельефа. Методический аспект / А. А. Златопольский // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. – М.: Изд-во ООО «Азбука», 2011. – Т. 8. – № 3. – С. 38 - 46.
13. Книжников Ю. Ф. Значение стереоскопических аэрокосмических снимков в исследованиях динамики географических явлений / Ю. Ф. Книжников, В. И. Кравцова // Изв. вузов. Геодезия и аэрофотосъемка. – М.: Изд-во МГУ, 2008. – № 3. – С. 125 - 133.