

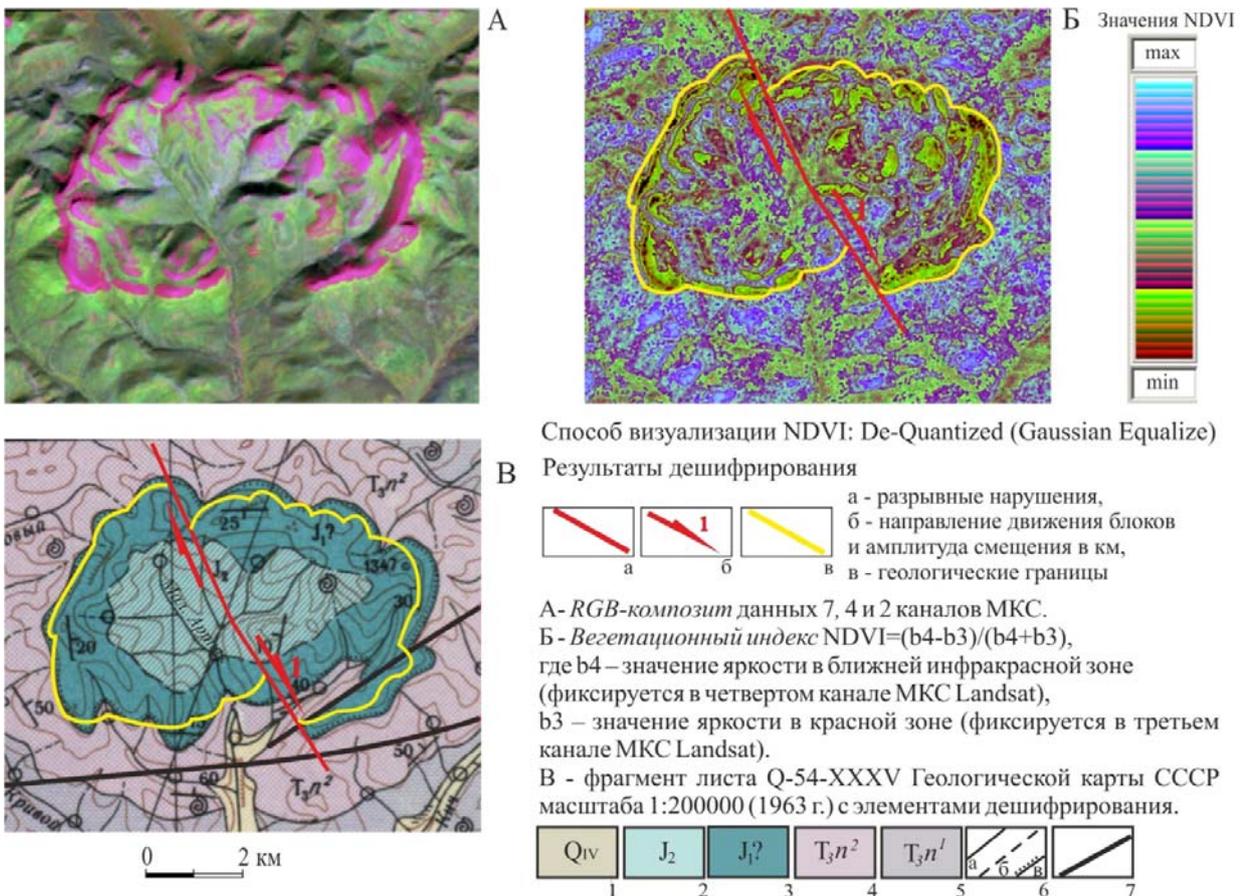
ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МНОГОСПЕКТРАЛЬНЫХ КОСМИЧЕСКИХ СНИМКОВ ПРИ КАРТИРОВАНИИ ВЕЩЕСТВЕННОГО СОСТАВА ГОРНЫХ ПОРОД

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

При геологических работах многоспектральные космические снимки (МКС) могут применяться для картирования стратиграфических, нестратиграфических подразделений и выявления структурно-тектонических особенностей территории. Задачи картирования решаются с применением различных видов обработок (преобразований) МКС (рис. 1-5).

Наиболее распространенными преобразованиями, используемыми при дешифрировании, являются **расчет соотношения интенсивностей сигналов разных каналов и создание RGB-композиций, а также вычисление специализированных индексов**. Одним из часто используемых индексов является индекс NDVI – нормализованный разностный вегетационный индекс (Normalized Difference Vegetation Index), чувствительный к наличию растительности на земной поверхности и использующийся не только для определения количества и состояния растительности, но и через геоиндикационные связи – состава подстилающих растительность пород.

Другим эффективным способом обработки МКС является использование **метода классификации с обучением**, который позволяет выделять на космическом снимке объекты разных типов, в том числе геологические. Для этого на изображении выделяются участки, отождествляемые с выбранными известными объектами и использующиеся как обучающие



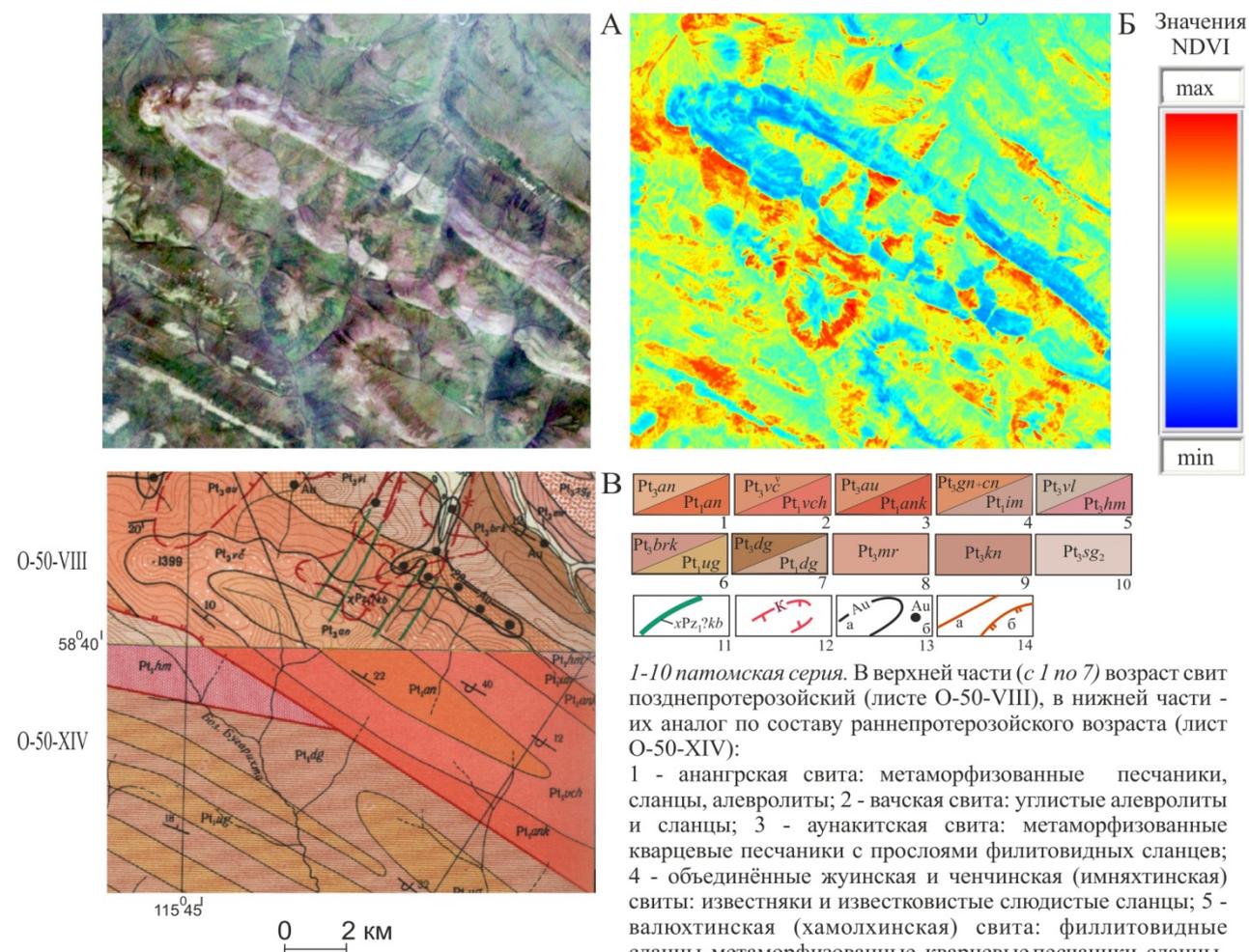
1 - современные отложения (Q_{IV}). Аллювиальные галечники, пески, супеси, суглинки, щебнисто-глыбовые образования; 2-3 *Юрская система*: 2 - средний отдел. Глинистые сланцы с прослоями песчаников и алевролитов (J_2), 3 - нижний отдел. Песчаники с редкими прослоями сланцев ($J_1?$); 4-5 *Триасовая система*. Верхний отдел. *Норийский ярус*: 4 - верхняя (алевролитоглинистая) толща, 5 - нижняя (песчаниковая) толща; 6 - границы разновозрастных отложений: а - установленные, б - предполагаемые, в - стратиграфического несогласия; 7 - тектонические разрывы.

Рис. 1. Отображение на МКС Landsat ETM+ (съемка 26.08.1999) мулды юрского возраста

эталон. Выбор участков-эталонных (правильность их отнесения к определенному типу, полнота представления данного типа) играет решающую роль для успеха классификации.

Пример картирования мульды юрского возраста (рис. 1). На площадях, сложенных юрскими образованиями, по индексу NDVI (рис. 1Б) удается проследить контакт между юрскими и триасовыми отложениями. По характеру повторяющихся фоторисунков на двух блоках, сложенных одними и теми же породами и имеющими в результате этого одинаковую растительность, но сдвинутых друг относительно друга, определена тектоническая обстановка: выделяется северо-западный правосторонний сдвиг с амплитудой 1 км. Граница образований юрского и триасового возрастов наблюдается и на RGB-композициях (рис. 1А).

Пример картирования отложений вачской свиты метаморфического комплекса протерозойского возраста (рис. 2). Породы вачской свиты, представленные черными алевролитами, пелитолитами, кварцитовидными песчаниками и филлитовидными сланцами, являются хорошим маркирующим горизонтом и картируются по МКС. На RGB-композиции



алевролиты; 6 - баракунская (угаханская) свита: метаморфизованные углистые известняки, песчаники и сланцы; 7 - джемкуканская свита: метаморфизованные углистые известковистые песчаники и сланцы; 8 - маринская свита: мраморы, известковистые слюдястые сланцы; 9 - конкудерская свита: слюдястые кварциты; 10 - согдиондонская свита, верхняя подсвета: гранатово-двуслюдяные сланцы, кварциты, прослой мраморов, алевролиты и углистые песчаники; 11 - палеозойские(?) интрузии: лампрофировый Кадали-бутунский дайковый комплекс; 12 - метасоматические изменения в породах: К - карбонатизация, ПТ - пирротинизация; 13 - шлиховые ореолы (а), шлиховые пробы с золотом (б); 14 - тектонические контакты: а - крутопадающие, б - надвиги.

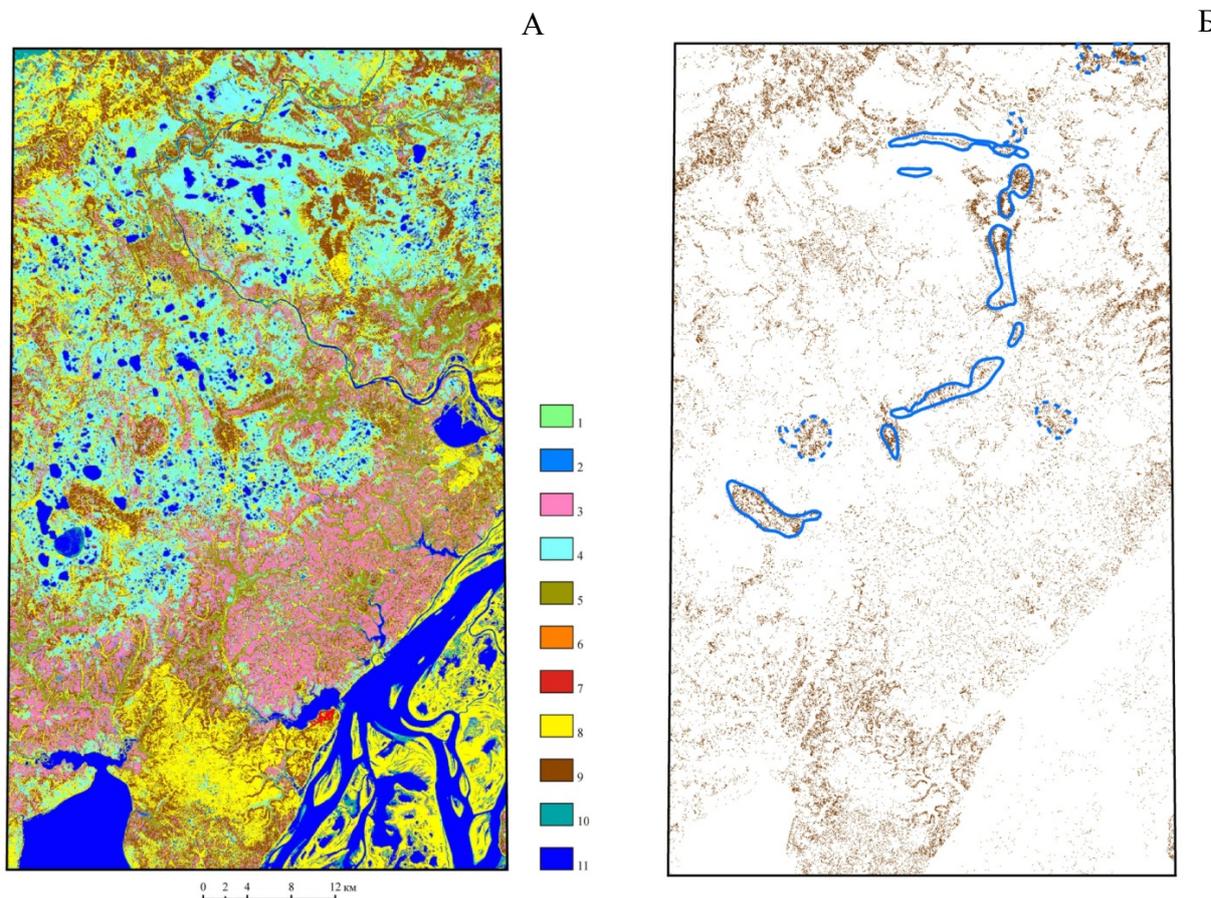
А - RGB-композиция данных 3, 2, 1 каналов МКС. Б - индекс NDVI. В - фрагменты листов О-50-VIII, XIV Геологической карты СССР масштаба 1:200 000 (1971, 1960).

Рис. 2. Проявление синклиальной структуры, сложенной метаморфизованными терригенными отложениями, в МКС Landsat ETM+ (съемка 19.07.2002)

(рис. 2А) породы вачской свиты, слагающие складку, выделяются белым цветом с сиреневым оттенком на синевато-зеленоватом фоне. Ярко проявляются породы этой свиты и при

расчете вегетационного индекса NDVI – синим цветом на желто-зелёном фоне (рис. 2Б). Синий цвет соответствует угнетенной растительности.

Пример использования метода классификации с обучением при подготовке карты четвертичных образований (КЧО) (рис. 3). На снимке были выбраны обучающие полигоны, отвечающие на местности ландшафтным (водоемы, озера, луга и т.п.) и геологическим (коренные породы, ледниковые отложения, и др.) объектам. Результаты классификации представлены на рис. 3А. При сравнении класса «моренные гряды» (рис. 3Б) с макетом КЧО и топографической картой дополнительно выделены еще несколько моренных гряд и их фрагментов.



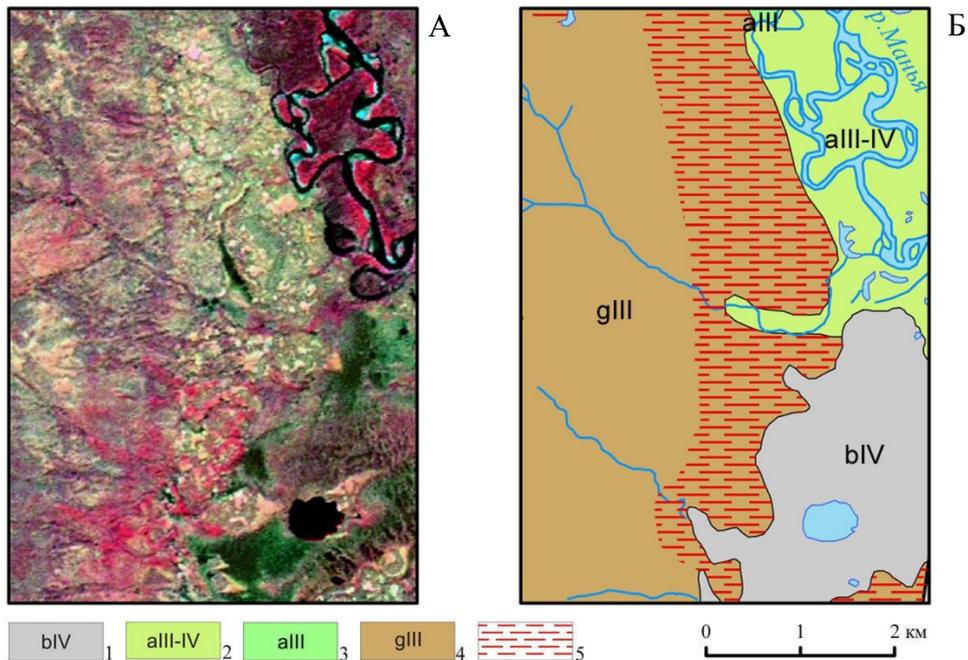
А – результаты классификации (классы): 1 – луга; 2 – озёра, мелководья; 3 – озёрно-аллювиальные отложения; 4 – озёрно-биогенные отложения; 5 – флювиогляциальные отложения; 6 – термокарстовые озера (видны при увеличении); 7 – гарь; 8 – поймы; 9 – моренные гряды и другие ледниковые отложения; 10 – коренные породы; 11 – водоёмы.

Б – соотношение класса «моренные гряды и другие ледниковые отложения» и моренных гряд по данным макета КЧО (синие контуры). Синими штриховыми контурами обозначены не показанные на макете КЧО моренные гряды, предполагаемые по данным классификационного анализа.

Рис. 3. Результаты использования метода классификации при картировании четвертичных отложений территории листа Q-41-XVIII по МКС Landsat ETM+ (съёмка 28.07.2001)

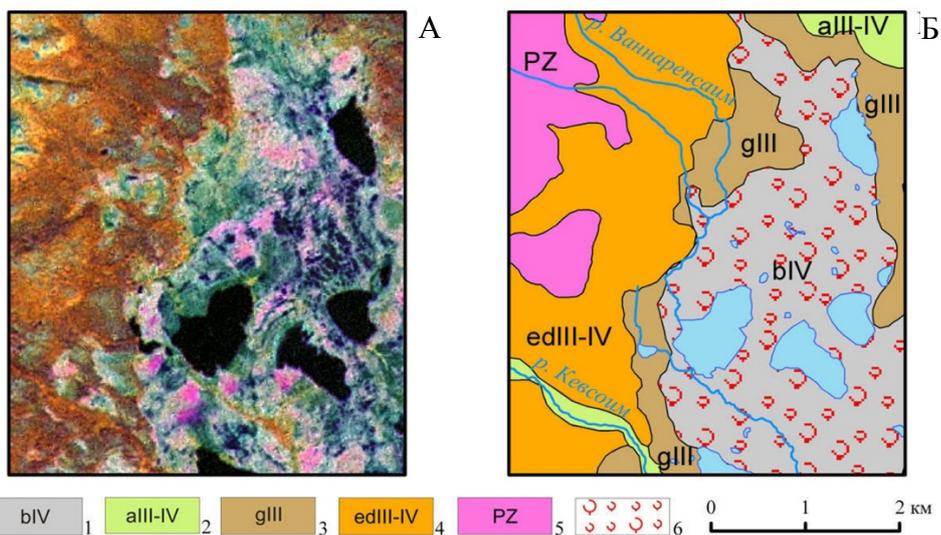
Примеры картирования областей распространения мерзлотной деятельности.

Мерзлотные процессы, являются одним из картируемых элементов и особенно важны при инженерно-геологических изысканиях. Проявление на RGB-композиатах мерзлотных процессов продемонстрировано на рисунках 4 и 5. Территория развития термокарста (рис. 4А) отличается наличием песочно-желтых пятен, по плотности которых можно судить об интенсивности термокарстовых процессов. Территория развития морозного пучения на RGB-комPOSITE (рис. 5А) проявлена розовыми пятнами, отмечающими бугры пучения и термокарстовые процессы.



А - RGB-композит данных 4, 3, 2, 8 каналов МКС. Б - КЧО, составленная с использованием результатов дешифрирования: 1 - болотные (биогенные) отложения, торфяные образования; 2-3 - аллювиальные: 2 - современные отложения поймы и первой надпойменной террасы; 3 - отложения первой-третьей надпойменных террас; 4 - ледниковые (моренные) верхнечетвертичные отложения; 5 - площадь развития термокарста.

Рис. 4. Проявление термокарста на МКС Landsat ETM+ (съемка 05.06.2000) (восточный склон Североуральских гор)



А - RGB-композит данных 4, 5, 3, 8 каналов МКС. Б - КЧО, составленная с использованием результатов дешифрирования: 1 - болотные (биогенные) отложения, торфяные образования; 2-3 - аллювиальные: 2 - современные отложения поймы и первой надпойменной террасы; 3 - ледниковые (моренные) верхнечетвертичные отложения; 4 - элливиально-деллювиальные отложения; 5 - коренные породы; 6 - участки развития мерзлотных бугров пучения.

Рис. 5. Отражение мерзлотных явлений в торфяниках на данных МКС Landsat ETM+ (съемка 05.06.2000) (восточный склон Североуральских гор)