

# ИЗУЧЕНИЕ СПЕКТРАЛЬНЫХ ОБРАЗОВ ПОДСТИЛАЮЩЕЙ ПОВЕРХНОСТИ В УСЛОВИЯХ СТЕПНОЙ ЗОНЫ

С.М. Северская, Н.Р. Муратова, А.Г. Терехов

Институт космических исследований МОН Республики Казахстан,  
Шевченко 15, 050010, Алматы, e-mail: n.muratova@mail.kz

Проведен анализ степной и сухостепной территории Шетского района Карагандинской области по данным дистанционного зондирования и выявлены закономерности формирования спектральных образов подстилающей поверхности в зависимости от геоморфологических и природных особенностей местности. Подготовлена спутниковая карта территории для рекогносировочных работ по данным со спутников TERRA/MODIS среднего (250м) и LANDSAT высокого (30м) разрешения. Показаны результаты маршрутного обследования. Исследования выполняются в рамках работ по созданию системы дистанционного определения параметров растительного и почвенного покровов в целях моделирования процессов поглощения углерода.

## Введение

В последние годы мировое сообщество связывает проблемы глобального потепления климата с общей тенденцией возрастания концентрации парниковых газов в атмосфере. Среди парниковых газов наиболее значимую роль играет CO<sub>2</sub>. Киотский протокол призвал все страны контролировать уровень эмиссий соединений углерода и установить углеродные квоты, которые могут быть проданы в качестве «сертифицированных квот уменьшения выбросов в атмосферу» странами, ратифицировавшими документ. Уже существует международная торговая система, и Казахстан в случае ратификации Киотского протокола, несомненно, будет заинтересован в продаже углеродных квот. Концентрация CO<sub>2</sub> в атмосфере растет не только за счет сжигания ископаемого топлива. Значительный вклад в тот процесс вносят нарушения поглощения углерода зеленой растительностью, которые возникают, в частности, при распашке земель и потере ими естественного биологического потенциала. Такие процессы характерны для территории Казахстана, где в период освоения целинных и залежных земель были вовлечены в оборот значительные площади степных и сухостепных геосистем, часть из которых в настоящее время представляет собой непродуктивные залежи или бросовые земли.

Проект Всемирного банка «Управление засушливыми землями», реализация которого запланирована в период с 2004 по 2008 гг., предусматривает демонстрацию возможностей и технологий восстановления бросовых земель, выведенных из оборота, в целях развития пастбищного хозяйства и животноводства в зоне сухих степей Шетского района Карагандинской области Казахстана. Одна из задач проекта – дистанционный контроль состояния земель.

## 1. Изучение территории по данным дистанционного зондирования

Решения практических задач с помощью данных дистанционного зондирования (ДДЗ) требуют детального изучения на специальных участках проектной территории спектральных отражательных характеристик и биометрических параметров растительного и почвенного покровов, как индикаторов свойств подстилающей поверхности. Основная цель анализа космических снимков различного разрешения (исторических и текущих) состоит в построении спутниковой карты типов подстилающей поверхности и развитии методов дистанционной оценки состояния и продуктивности растительного покрова. Оценка первичной продукции надземной и подземной фитомассы является важным составляющим звеном механизма учета поглощения CO<sub>2</sub>. Современные средства зондирования Земли из космоса и методы использования этой информации позволяют оценивать первичную продукцию (зеленую биомассу) различных экосистем по их спектральным характеристикам в течение вегетационного сезона и уточнять географические контуры экосистем, а также следить за их изменениями. Применение ДДЗ помогает более детально изучать территорию, сводить полевые исследования к необходимому минимуму и по полученному опыту экстраполировать знания на большие территории с близкими природными условиями.

До выезда на полевые работы проведен анализ проектной территории и выявлены определенные закономерности в распределении типов земной поверхности, которые, так или иначе, проявляются на разновременных космических снимках. Для этого апробировалась методика визуального ландшафтного дешифрирования по данным космической съемки высокого разрешения (Landsat 03.07.99). Цель работы состояла в выделении границ экосистем на анализируемых территориях Карагандинской области. Основным методом работы явилось экспертное декодирование изображения.

Изучение ландшафтной структуры проектной территории по ДДЗ показало, что формирование почвенно-растительного покрова тесно связано с особенностями орографии, климатическими причинами и условиями увлажнения. Абсолютная высота, инсоляционная и циркуляционная ориентация склонов определяют контрасты местных климатических условий и создают различные сочетания тепла и влаги, что приводит к мозаичности почв, растительности и, в результате - ландшафтов даже на небольших участках. Для более глубокого понимания распределения ландшафтов территории проанализированы ее геоморфология и природные особенности.

## 2. Геоморфологические и природные особенности проектной территории

В геоморфологическом отношении Шетский район представляет собой часть Казахского мелкосопочника – своеобразной природной части низких островных гор и холмогорий, возвышающихся над поверхностями денудационных и аккумулятивных равнин. Этот мелкосопочный регион сформировался в процессе длительного континентального развития, продолжавшегося с середины палеозоя и до наших дней. Территория сложена сильно метаморфизованными докембрийскими и палеозойскими толщами, прорванными гранитными интрузиями разного возраста. Эти толщи были дислоцированы во время каледонского и герцинского горообразовательных процессов, когда и возникли древние горные сооружения. Длительное разрушение гор денудационными процессами превратило их в низкогорья и обширную почти равнину – древний пенеплен с островными горными массивами, сложенными наиболее устойчивыми к разрушению породами. Различные денудационные формы мелкосопочника тесно связаны с характером горных пород и их залеганием. Так, для гранитов характерны скалистые, зубчатые, шаровидные либо матрацевидные формы выветривания, для линейно вытянутых толщ песчаников, известняков и сланцев – гребни и гряды, для вторичных кварцитов – острые вершины. Господство северо-западной ориентировки орографических элементов предопределено древним каледонским структурным планом. Область включает приподнятый горно-мелкосопочный Балхаш-Ишимский водораздел, а также низкогорья Бугылы, Жаксы-Тагылы, Каратемир, Котыртас, Тектурмас и др. Основными типами рельефа гор являются эрозионно-тектонические низкогорья (грядовые, гривистые, куполовидные) с абсолютными высотами до 1500 м.

Водораздельный мелкосопочник имеет холмистый и холмисто-грядовый рельеф. Сопки обычно приурочены к устойчивым породам, поэтому часто вытянуты цепью по залеганию пород, образуя денудационные гряды. На вершинах обнажаются выходы коренных пород или их щебень, дающий гравитационные потоки обломочного материала на склонах. Слоны сопок имеют мягкие очертания. Абсолютные высоты мелкосопочника изменяются в зависимости от общей приподнятости данного участка, чаще всего это 600-700 м., относительные превышения колеблются от 3 до 40 м [1].

Речные долины широко развиты на территории района, хотя речной сток современных рек незначителен, а местами вообще отсутствует. Характерно разделение долин на древние и современные. Существует предположение о тектоническом происхождении древних долин, поскольку в ряде случаев водная эрозия даже не использовала прогибы, и они оказались заполненными материалом неаллювиального происхождения. Древние долины имеют ширину от 5 – 10 до 20 – 30 км. Длина расширенных участков небольшая, а глубина вреза составляет 30 – 70 м, местами достигая 90 – 160 м. Долины, как указывалось, иногда лишены аллювия и выполнены глинистым материалом озерного, озерно-лагунного и делювиального происхождения. Часто такие долины представляют собой внутригорные впадины, разделяющие горные массивы (например, в верховьях Шерубай-Нуры). Морфология речных долин, помимо геологического строения, тесно связана с климатическими и ландшафтными условиями. Там, где господствует густой дерновый покров степей и поэтому мало склоновых наносов, долины в районах пересечения приподнятого мелкосопочного рельефа узкие и имеют несколько аккумулятивных террас. Там же, где растительность крайне разрежена и происходит интенсивное выветривание обнаженных скал с образованием большого количества наносов, долины широкие, с низкими и широкими аллювиальными террасами и пологими делювиальными склонами, переходящими в предгорные шлейфы. При интенсивном освоении земельных ресурсов района распахивались, прежде всего, подобные территории.

В реках, стекающих с окрестных гор, 70-90% годового стока проходит в течение полутора – двух с половиной недель весной; после этого они становятся маловодными или разбиваются на цепочку плёсов. Наиболее крупной рекой является Шерубай-Нура и её приток Талды. Среди мелкосопочника и низкогорных массивов часты выходы трещинных вод в гранитных массивах.

Природная однородность территории обычно отражается в комплексном физико-географическом районировании. Из существующих схем подобного деления территории мы остановились на «Физико-географическом районировании» из Атласа Карагандинской области. Территория района исследований относится к Успенско-Каркаралинской степной провинции, в которой обособляются следующие районы: Тектурмасское низкогорье и денудационная равнина Тектурмасского антиклиниория с разнотравно-злаковой и кустарниковой растительностью на светлокаштановых и каштановых почвах (27); Спасский мелкосопоч-

ник и низкогорье Спасского антиклинония с разнотравно-злаково-кустарниковой и холоднополынно-злаковой растительностью на каштановых и темнокаштановых почвах (28); Карасурская мелкосопочно-денудационная равнина Айнасуйского синклинония со злаково-австрийскополынно-кустарниковой, волоснепшевой и тростниковой растительностью на темнокаштановых почвах (29); Атасуская мелкосопочно-денудационная равнина Атасуского антиклинония с белополынно-типчаково-ковылковой растительностью на светлокаштановых почвах (31); Успенский мелкосопочник Успенского синклинония с белополынно-злаковой и холоднополынно-злаковой растительностью на светлокаштановых почвах (32); Бугылинское низкогорье Калдырминского вулканогенного комплекса с холоднополынно-типчаковой и красноковыльно-кустарниковой растительностью на каштановых и горных каштановых почвах (33); Карапшинское низкогорье и мелкосопочник Калдырминского вулканогенного комплекса с разнотравно-овсевцово-типчаковой и кустарниково-холоднополынно-злаковой растительностью с участием осоково-овсевцовых лугов и можжевельника на горных каштановых почвах (34); Талдыманский мелкосопочник Талдыманской синклиналии с узкодольчатополынно-злаково-кустарниковой растительностью на светлокаштановых почвах (37); Тагалинский мелкосопочник и низкогорье Жамансарысуйского антиклинония с типчаково-ковылковой и караганово-злаковой растительностью на светлокаштановых и горных каштановых почвах (38). С юга территории исследований граничит с Кушокинским низкогорьем стыка Успенско-Каркаралинской и Актасской тектонических зон с караганово-типчаково-красноковыльной растительностью на горных каштановых и горных сетлокаштановых почвах (75); Кайнарбулакским низкогорьем Токраусского синклинония с типчаково-холоднополынной и овсевцово-кустарниковой растительностью на горных каштановых почвах (76).

Следовало ожидать, что каждый из выделенных физико-географических районов, обладающих однородностью всех природных компонент, будет иметь одинаковый спектральный образ. Однако сопоставление природного районирования и космического снимка показало несогласованность выделенных контуров и их спектральных характеристик (рис. 1). В первую очередь, на космическом снимке обращает внимание оригинальный рисунок долин и межгорных понижений, обусловленный наличием сельскохозяйственных полей. Схемы землепользования показывают, что распашке подвергались земли, расположенные по межгорным долинам и на пологих склонах горных массивов и мелкосопочника. Несмотря на то, что далеко не все поля в настоящее время находятся в обороте и большинство из них является многолетней залежью, сохранился характерный для пахотных угодий геометрический рисунок. Кроме того, подвергавшиеся освоению территории имеют также только им присущие спектральные характеристики, не свойственные естественным геосистемам.

Таким образом, анализ спектральных характеристик показал, что в дальнейшем необходимо учитывать, в какой мере поверхность связана со спектральной яркостью отдельных компонентов природы и их изменениями. Этот критерий послужил основой для составления классификационного кадастра территории, содержащего перечень всех компонентов ландшафта и их сочетаний, определяющих яркость поверхности. То есть для каждой геосистемы устанавливалась специфика спектральных образов с учетом влияния рельефа, литологии слагающих пород, почв, видового состава растительного покрова и его проективного покрытия и т.д. с учетом зависимости состояния биоты и почв от климатических параметров (температуры, режим осадков, влажность).

### 3. Рекогносцировка территории по спутниковой карте

Для предварительно изучения спектральных образов подстилающей поверхности и проведения рекогносцировочного обследования построена спутниковая карта территории на основе СМУК композита из следующей спутниковой информации среднего разрешения (250 м) за 2003 год: данных TERRA/MODIS на конец мая (2 канал: 841-876 нм), на конец июля (1 канал: 620-670 нм и 2 канал) в период максимума вегетации степной растительности и LANDSAT (5 канал: 1,55-1,75 мкм с разрешением 30 м). Второй канал данных TERRA/MODIS наиболее чувствителен к площади проективного покрытия поверхности Земли зеленой биомассой растений. Участие в композите двух разновременных снимков (конец мая и конец июля) позволяет регистрировать особенности динамики вегетации. Включение в композит первого канала данных TERRA/MODIS обусловлено необходимостью учёта спектральных особенностей почвы и ее вклада в общий спектральный образ. Для лучшего отображения мелкой детализации, связанной с речными руслами, береговой растительностью и др., в полученный композит специальной процедурой были также включены данные LANDSAT за 20 августа 1999 года. Целью рекогносцировочного обследования Шетского района Карагандинской области явилось изучение факторов, определяющих спектральные образы подстилающей поверхности и основных растительных сообществ.

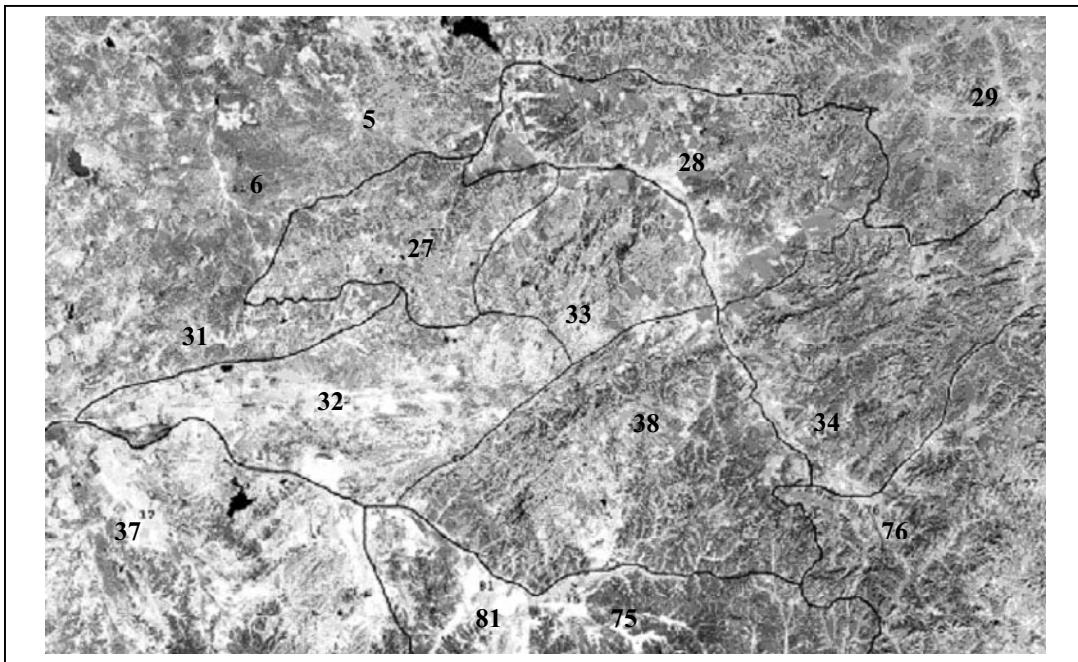


Рис. 1. Фрагмент космического снимка Landsat, совмещенный со схемой природного районирования.

Полевые исследования проводились в течение вегетационного сезона 2004 года на территориях различных сельскохозяйственных округов. В задачи работ входили исследования спектральных образов различных экосистем региона и оценка влияния на эти образы таких свойств подстилающей поверхности, как видовой состав травостоя, проективное покрытие растительностью и особенностей почвенного покрова. При проведении полевых работ отмечались также нарушенность земель вследствие хозяйственного использования, время существования залежных и брошенных территорий.

При полевом изучении спектральных образов мы ориентировались на составленный композит космических снимков, отражающий в наибольшей степени состояние растительного покрова, как самого значимого индикатора состояния подстилающей поверхности. Описание поверхности и её спектральных образов проводилось в процессе маршрутных обследований территории с привязкой участков при помощи GPS. Фрагмент спутниковой карты 200000 масштаба приведен на рис. 2.

Образец описания спектральных образов участков по данным дистанционного зондирования и их характеристики по материалам полевых обследований представлены в таблице 1. Отдельные типы подстилающей поверхности представлены на рисунках 3-5.

Таблица 1. Характеристики участков по материалам полевых обследований

№	Координаты	Цвет на композите	Характеристика поверхности и растительность	Проективное покрытие, %
35	48°55' 73°37'	Голубой	Залежь с кулисами, сеянный житняк, полынь, ковыль (рис. 3)	30
91	49°13' 73° 55,4'	Зеленый темный	Злаково-разнотравная степь	100
93	49°13' 73° 51,4'	Розовый темный	Вейниково-типчаковый луг	100
94	49°13,1' 73° 51,6'	Желтый и голубой	Сопки с полынью и спиреей	25
97	49° 11,3' 73° 50,0'	Желтый, болотный светлый	Луг с солодкой и тростниками	100
102	49° 04' 73° 32,6'	Голубой и белый	Полынная, почва трещинами	30
111	48° 50,8' 73° 16,7'	Розовый и голубой	Лиман (заливной луг)	100
117	48° 51,3' 72° 53,4'	Серый	Плоские сопки с кустарником	50
114	48° 52,8' 73° 10'	Белый	Граниты с можжевельником (рис. 4)	20
108	48° 53,9' 73° 30,5'	Голубой	Сеянный житняк	20
130		Желтый	Типчаково-полынная (рис. 5)	30

## **Заключение**

Анализ данных наземного обследования показал значительную вариабельность спектральных характеристик по данным цифровой мультиспектральной космической съемки (среднего и высокого разрешения) и состояния поверхности. В ряде случаев отмечалось, что близкие по спектральным образам территории имеют различные характеристики подстилающей поверхности (см. Таблицу 1). Можно констатировать схожесть спектральных образов лиманов и полей пшеницы с высоким проективным покрытием. Для территорий залежей с разреженным растительным покровом или с выходом скальных пород не удалось отметить большого влияния проективного покрытия и типа растительности на их спектральные образы. В дальнейшем для детализации распознавания подобных территорий планируются наземные спектрометрические и ландшафтные исследования.

## **Литература**

1. Равнины и горы Средней Азии и Казахстана. М.: изд. Наука. 1975. 264 с.

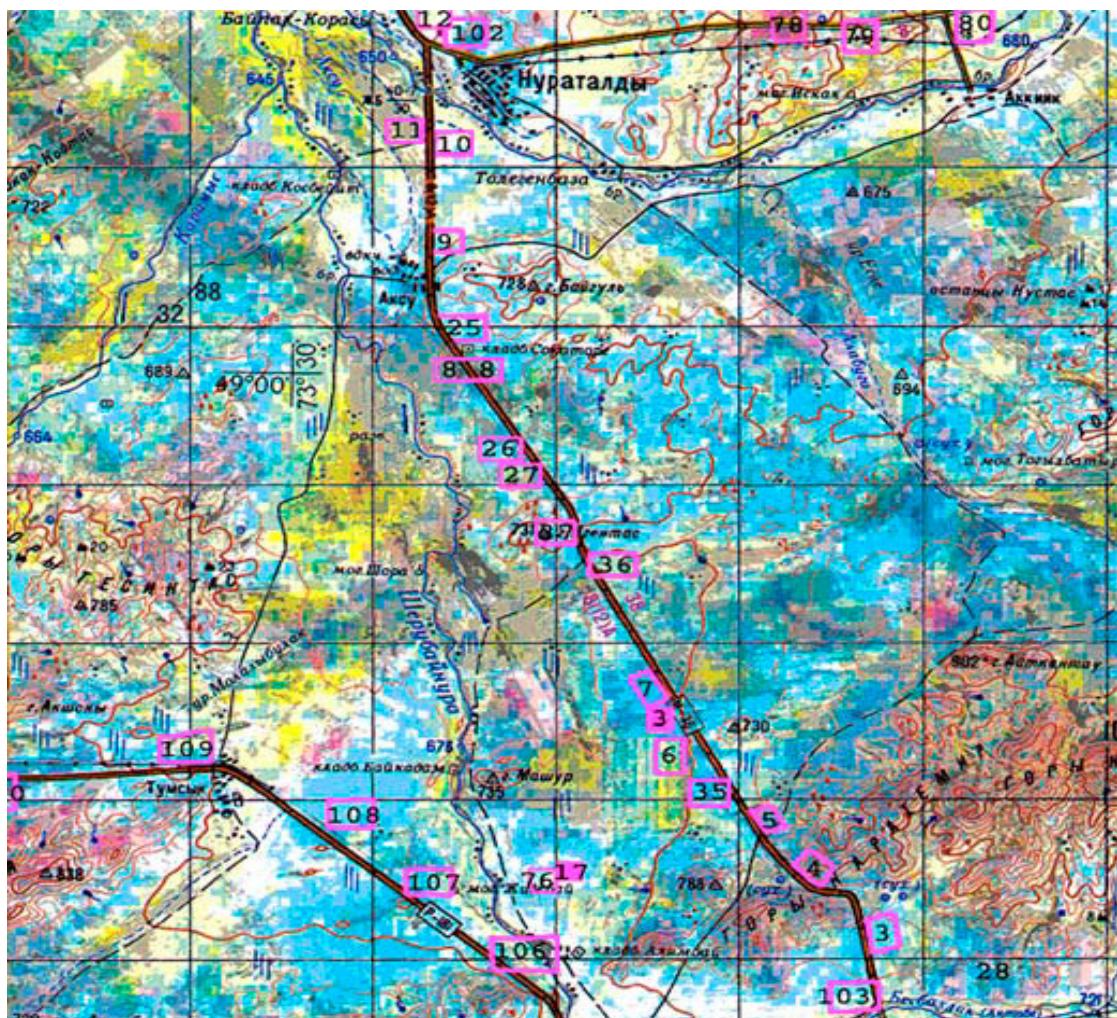


Рис. 2. Фрагмент композита с обозначением участков полевого обследования.



Рис. 3. Участок 35. Многолетняя залежь с житняком.



Рис. 4. Участок 114. Гранитное низкогорье с пятнами можжевельника.



Рис. 5 Участок 130. Плоская денудационная равнина с полынно-ковыльно-типчаковой растительностью.