

Методика оценки содержания гумуса в пахотных землях Северного Казахстана на основе спутниковых данных

А.Г. Терехов, А.М. Кауазов

*Институт космических исследований ЦАФИ МОН,
ул. Шевченко, 15, Алматы, 050010, КАЗАХСТАН
E-mail: aterekhov1@yandex.ru*

Спутниковые данные IRS LISS (каналы 2: 620-680 нм; 3: 770-860 нм) с разрешением 23 м совместно с MODIS (каналы 1: 620-670 нм; 2: 841-876 нм) с разрешением 250 м могут использоваться для оценки содержания гумуса в поверхностном (1-3 см) слое почвы пашни Северного Казахстана. В рамках повсеместно практикующегося зернопарового севооборота поля после года парования в весенний период имеют совершенно чистый почвенный покров не загрязненный прошлогодними остатками культур и всходами сорных трав. В этих условиях спутниковая диагностика позволяет оценивать содержание гумуса в поверхностном слое для почв Северного Казахстана не содержащих существенных количеств окрашивающих минеральных компонентов. Для анализа пригодны безоблачные синхронные снимки IRS LISS и MODIS в период середины мая – начала июня. Данные MODIS (1,2 канал) в формате продукта MOD02 (band reflectance) использовались для калибровки соответствующих каналов IRS LISS. Наземный профиль содержания гумуса на тестовом поле (55 проб) с вариациями в содержании гумуса 2,5-5,0% сравнивался со спутниковой съемкой за 25 мая 2005 года. Показано наличие хорошей взаимосвязи ($R^2=0.7025$) между отношением коэффициентов отражения каналов IRS LISS (канал 3 / канал 2) и содержанием гумуса.

Введение

Графики спектрального отражения различных почв имеют свои особенности в конфигурации спектральной кривой, рис. 1. При описании спектральных характеристик почв с помощью красного и ближнего инфракрасного диапазона спектра обычно говорят о «почвенной линии» [1-3] на плоскости NIR-RED, подразумевая существование достаточно стабильного отношения коэффициентов отражения этих каналов слабо зависящего от величин яркости. Многообразие реальных почв размывает идеальную линию, превращая ее в некоторую полосу.

Коэффициенты отражения от чистого почвенного покрова зависят от нескольких факторов. В порядке убывания значимости их можно расставить примерно в следующем виде: поверхностная влажность; комковатость поверхности почвы; содержание окрашивающих компонентов: минеральных (обычно соединения железа) и гумуса.

Спутниковые данные

Анализ почвенного покрова сельскохозяйственных полей Северного Казахстана должен опираться на спутниковые данные, имеющие пространственное разрешение достаточное для уверенного распознавания типичных неоднородностей в составе почв.

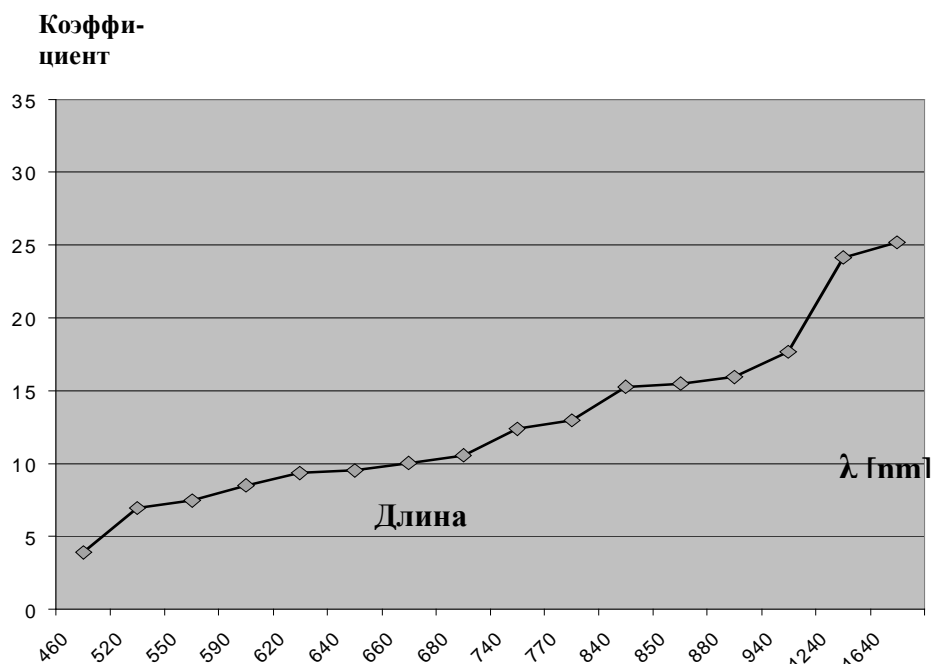


Рис.1. Наземные спектральные характеристики типичного парового поля Северного Казахстана. Костанайская область, зона темно-каштановых почв, июль 2006

Это условие необходимо для корректного сопоставления спутниковых данных и результатов наземных обследований. Неоднородности поверхностных почвенных характеристик на полях Северного Казахстана в основном обусловлены процессами водной эрозии (рис.2), которые на слабоклоненных равнинах имеют достаточно

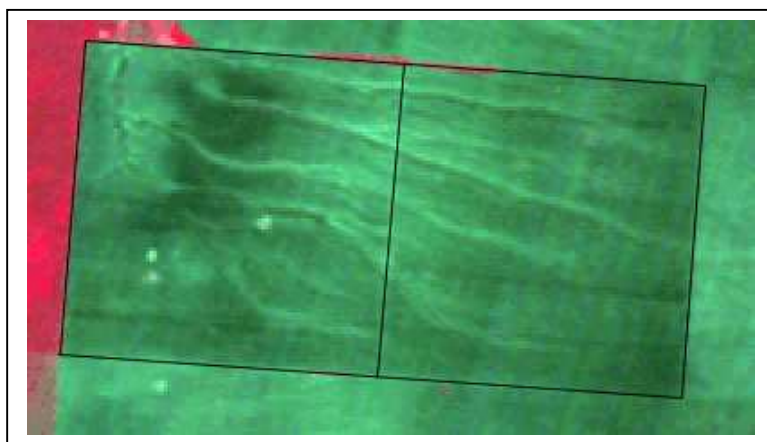


Рис.2. Два стандартных (400 га) по размеру поля с типичными неоднородностями в спектральных характеристиках почв вызванных водной эрозией. Костанайская область, 25 мая 2005 года снимок IRS LISS, псевдоцветной композит RGB 322

крупный пространственный масштаб. Данные IRS LISS (канал 2: 620-680 нм; канал 3: 770-860 нм) с разрешением 23 м представляют типичное поле (400 га) в виде матрицы 87x87 пикселей, что обеспечивает достаточную детализовку.

Проблема сопоставимости результатов анализа разновременных снимков IRS LISS решается с помощью синхронных (в тот же день) данных MODIS, имеющих близкие характеристики своих каналов RED (канал 1: 620-670 нм) и NIR (канал 2: 841-876 нм). Система калибровки каналов в системе MODIS развита хорошо, что позволяет через сравнение одних и тех же однородных по яркости территорий перейти к величинам коэффициентов отражения и в системе IRS LISS (каналы 2,3).

Анализ «почвенной линии»

Более влажные, темные почвы, с высоким содержанием окрашивающих компонентов расположены ближе к началу координат плоскости NIR-RED, а светлые (менее плодородные) и сухие более удалены от начала координат. Однако для понимания принципов формирования «почвенной линии» важны детали. Какие факторы и как влияют на расположение почвенной характеристики на плоскости NIR-RED.

Концепция почвенной линии используется в схеме иллюстрирующей, как различные виды вегетационных индексов оценивают состояние растительного покрова. Появление растительности сдвигает характеристику почвенного покрова в сторону «точки растительности», т.е. состояния почвенного покрова со 100 % листовым покрытием. На плоскости NIR-RED расстояние между «почвенной линией» и «точкой растительности» велико, поэтому даже небольшой вклад листового покрытия заметно сдвигает характеристику почвенного покрова в сторону от «почвенной линии». Таким образом, если мы хотим использовать спутниковые данные для анализа только почвенных характеристик растительность должна отсутствовать полностью, причем как зеленая, так и прошлогодняя сухая.

Зернопаровой севооборот превалирует на большинстве полей Северного Казахстана. Механический способ парования, включающий ряд прополок в течение вегетационного сезона, обеспечивает очистку поля от сорной растительности. Весной после года парования в период перед севом или сразу после него почвенный покров поля максимально стандартизирован. Отсутствуют не только прошлогодние остатки культуры и всходы сорных трав, но и комковатость поверхности почвенного покрова за счет однотипной обработки весьма близка, рис.3. Это обеспечивает максимально благоприятные условия применения спутниковых данных в задаче оценки основных характеристик поверхности почвенного покрова.



*Рис.3. Весеннее состояние почвенного покрова на зерновом поле после сезона парования.
Костанайская область, 20 мая 2005*

Наиболее значимый фактор, определяющий яркость почвы в ближнем инфракрасном диапазоне, это ее поверхностное увлажнение. Чем выше влажность, тем темнее почва. Поверхностная влажность почвы зависит от погодных условий. Недавно прошедший дождь или выпавшая роса повышает влажность. В Северном Казахстане весенний период характеризуется низкой влажностью воздуха, что способствует быстрому высыханию поверхности почвы. Основным фактором, приводящим к различной степени увлажнения поверхности зерновых полей весной это агротехнические работы. Любая операция на поле, связанная с механической обработкой почвы за счет перемешивания почвы на поверхности приводит к увеличению ее влажности. Спектральные из-

менения после весенних агротехнических работ в зависимости от погодных условий сохраняются несколько дней. Соответственно, в весенний период в любой момент времени на спутниковой сцене можно найти сельскохозяйственные поля с открытым почвенным покровом, имеющими различное поверхностное увлажнение.

На рис.4 приведена зависимость между каналом 3 (NIR) и отношением каналов [канал 3 (NIR) / канал 2 (RED)] IRS LISS для полей после парования. Значение коэффициента отражения в канале 3 в основном связано с поверхностным увлажнением, а отношение (канал 3 / канал 2) к формуле определяющей «почвенную линию». Низкая величина коэффициента корреляции ($R^2 = 0,15$) указывает на отсутствие существенной зависимости между этими параметрами. Таким образом, поверхностное увлажнение, в основном определяющее яркость почвы, не изменяет расположение «почвенной линии». Т.е. более темные влажные почвы располагаются ближе к началу координат плоскости NIR-RED, сухие, светлые почвы дальше от начала координат, но в основном по «почвенной линии». Эмпирическая величина: $([\text{канал 3}] / [\text{канал 2}]) - (1,0545 * [\text{канал 3}])$ полностью освобождена от корреляций ($R^2 = 1E-11$) с величиной канала 3, рис.5.

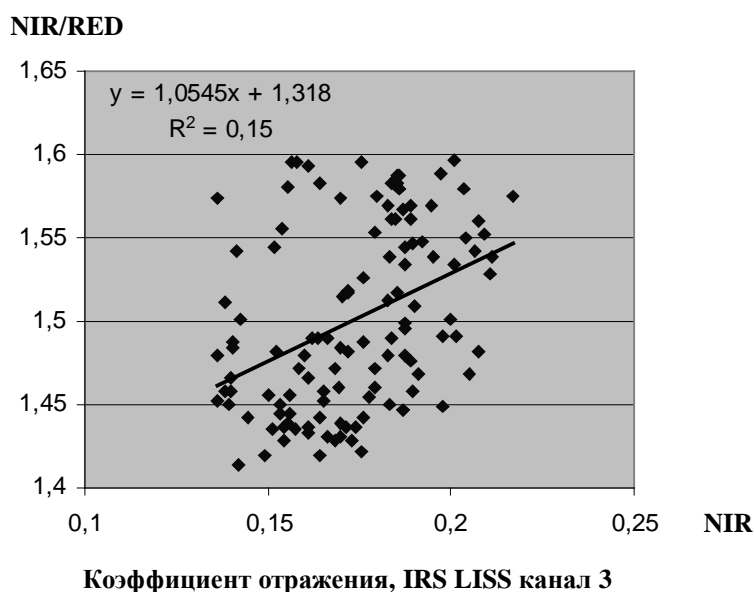


Рис.4. Взаимосвязь между коэффициентом отражения IRS LISS канал 3 и отношением каналов (3 к 2) у паровых полей фрагмента Костанайской области в сезоне 2005 года

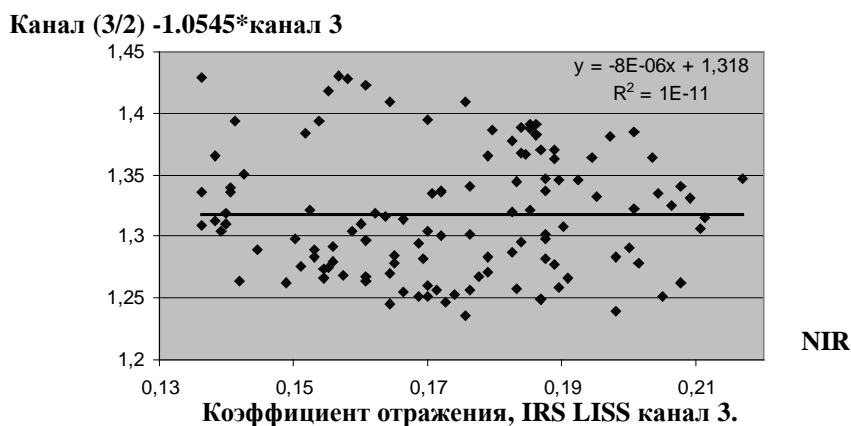


Рис.5. Взаимосвязь между коэффициентом отражения IRS LISS канал 3 и полностью независимым от него параметром [канал (3/2) -1.0545*канал 3] для паровых полей фрагмента Костанайской области в сезоне 2005 года

Таким образом, почвенная линия, не является прямой, а описывается квадратичной функцией с общей формулой: $NIR = A[RED]^2 + B[RED] + C$. Для условий Северного Казахстана коэффициент $[A]$ отрицателен и близок к единице (-1.0545), величина коэффициента $[B]$ зависит от содержания окрашивающих почву компонентов: гумуса и некоторых минеральных веществ.

Содержание минеральных компонентов (соединений железа) в почвах Северного Казахстана невелико. Поэтому, этот фактор не является значимым для почвенной спектральной характеристики. Комковатость почвенной поверхности на паровых полях близка, поскольку сформирована механической обработкой одинаковыми сельскохозяйственными агрегатами. Таким образом, влияние факторов комковатости и вариаций окраски почвы за счет минеральных компонентов не влияет на расположение «почвенной линии» на плоскости NIR-RED у большинства паровых полей Северного Казахстана.

Содержание гумуса в степной зерносеющей зоне Северного Казахстана варьируется довольно сильно, от 2 % для каштановых почв, до 6-7 % в обыкновенных черноземах, что заметным образом отражается на ее окраске. По данным IRS LISS весеннего периода 2005 года в Костанайской области было выбрано паровое тестовое поле, характеризующееся неоднородными спектральными характеристиками и существенным разбросом содержания гумуса в поверхностном слое почвы (2-5%). В сезоне 2006 года тестовое поле было обследовано и отобрано 55 образцов вдоль линии секущей пространственную аномалию в содержании гумуса, рис.6. На рис.7. показана зависимость между отношением коэффициентов отражения, канал 3 (NIR) / канал 2 (RED) IRS LISS, и содержанием гумуса в поверхностном слое почвы (1-3 см). Высокая величина коэффициента корреляции ($R^2 = 0.7025$) указывает на наличие четко выраженной взаимосвязи.

Опираясь за зависимость, рис. 7, можно определить математический вид «почвенных линий» для пахотных земель с различным содержанием гумуса, рис.8. При этом предполагалось, что общее уравнение «почвенной линии» почв Северного Казахстана имеет вид:

$$NIR = -1.0545 * [RED]^2 + [RED] / F(\text{humus}).$$

Коэффициенты: $[A] = -1.0545$; $[B]$ – функция от содержания гумуса ($1 / F(\text{humus})$), $[C]$ предполагается равным 0.

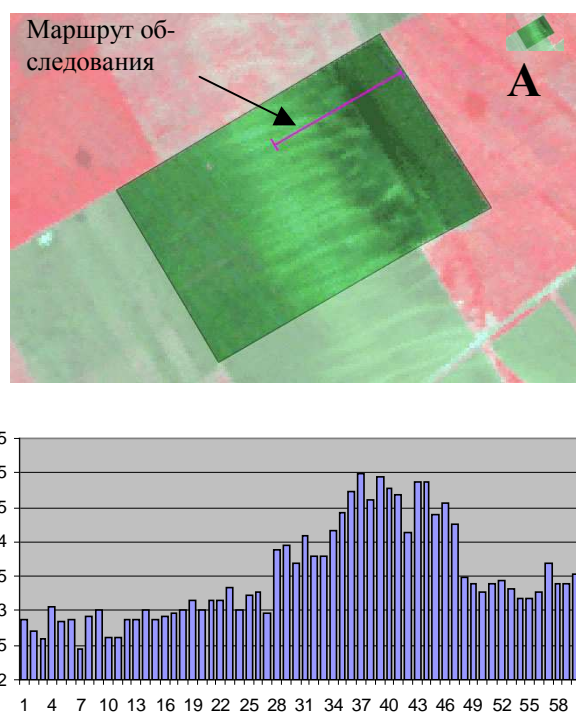


Рис.6. А - Тестовое поле (IRS LISS, RGB 322, 25 мая 2005) с маршрутом наземного обследования и отбора, почвенных образцов. В – Профиль содержания гумуса в поверхностном слое (1-3 см) почвы по данным лабораторных анализов

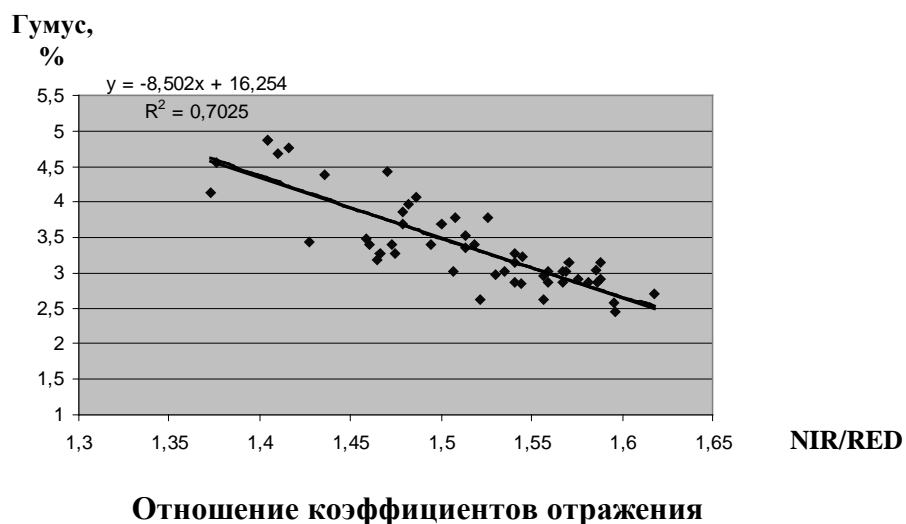


Рис.7. Зависимость между поверхностным содержанием гумуса и отношением коэффициентов отражения IRS LISS (канал 3 / канал 2) для точек обследования на тестовом поле Костанайской области

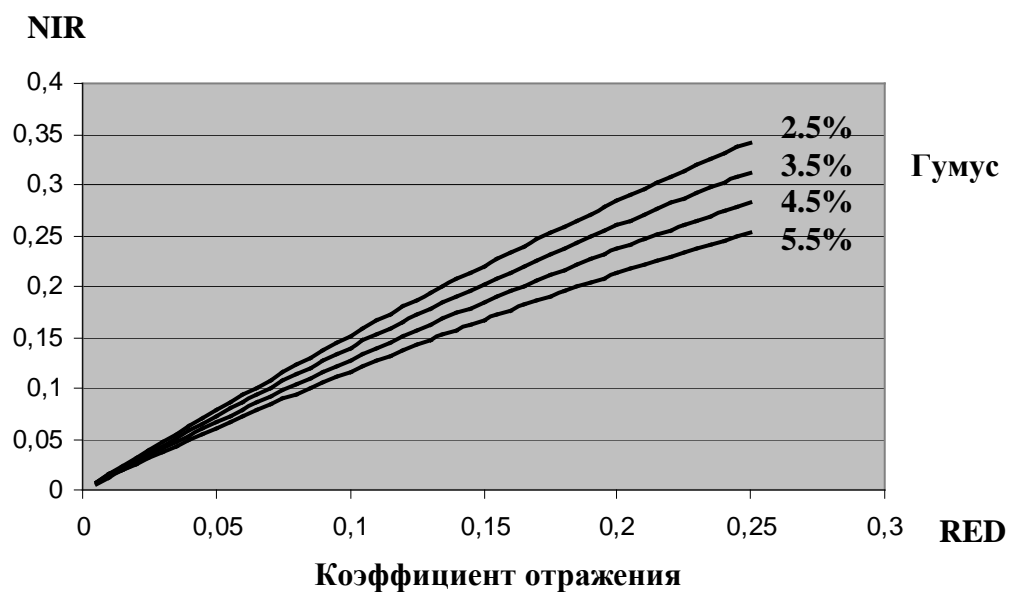


Рис.8. Вид кривых «почвенных линий» для пахотных земель Северного Казахстана с различным поверхностным содержанием гумуса

Выводы

На плоскости NIR-RED формирование «почвенной линии» имеет определенные закономерности. Коэффициент наклона в уравнении «почвенной линии» определяется содержанием окрашивающих компонентов. Для условий Северного Казахстана это в основном содержание гумуса. Поверхностное увлажнение смещает спектральные характеристики почв вдоль «почвенной линии», ближе или дальше от начала координат.

Спутниковый анализ сельскохозяйственных полей степной зоны Северного Казахстана с целью определения содержания гумуса в поверхностном слое применим в случае полного отсутствия растительного покрова, как зеленого, так и сухого прошлогоднего. Такие условия наблюдаются на зерновых полях, в рамках зернопарового севооборота, весной после сезона парования.

Проведенные исследования позволили определить математический вид «почвенной линии» для пахотных земель Северного Казахстана:

$$\text{NIR} = -1,0545 * [\text{RED}]^2 + [\text{RED}] / \text{F (humus)}.$$

Соответственно, оценка содержания гумуса на поверхности (1-3 см) почв может базироваться на величине отношения каналов NIR/RED (или $[\text{NIR}/\text{RED}] - \text{RED}$), например каналов 2, 3 системы IRS LISS.

Литература

1. *Кондратьев К.Я., Козодеров В. В., Косолапов В.С.* Проблемы изучения биосферы из космоса // Исслед. Земли из космоса. 1992. № 2. С. 15-23.
2. *Kauth R.J., Thomas G.S.* The tasseled cap - A graphic description of the spectral temporal development of agricultural crops as seen by Landsat // Proc. Symp. on Machine Processing of Remotely Sensed Data. West Lafayette, Indiana: Purdue University, 1976. P. 41-51.
3. *Korolyuk T.V., Shcherbenko H.V.* Compiling soil maps on the basis of remotely sensed data digital processing: soil interpretation // Int.J.Rem.Sens.1994.V.15.N7.P.1379-140.