

# Технология уборки зерновых культур Казахстана в представлении спутниковых данных

Н.Р. Муратова, А.Г. Терехов

*Институт космических исследований МОН РК  
ул. Шевченко 15, 050010, Алматы, Казахстан  
E-mail: [nmuratova@mail.ru](mailto:nmuratova@mail.ru)*

Рассмотрены возможности использования спутниковой информации для контроля над уборочной кампанией яровых зерновых культур в Северном Казахстане. Выявлено, что наилучшей информативностью обладают снимки высокого пространственного разрешения до 6 м. Разрешения порядка 20-30 м достаточно для регистрации основных технологических приемов в процессе уборки. Данные среднего пространственного разрешения EOS MODIS (разрешение 250 м) позволяют регистрировать уборку поля только в случае изменения средних спектральных характеристик.

## Введение

Общеизвестно, что в комплексе работ по возделыванию зерновых культур уборка урожая наиболее сложный и трудоемкий процесс. Существенная особенность жатвы - одновременное выполнение разных операций (косовица, подбор валков, сбор соломы). В зерносеющих регионах Северного Казахстана наблюдается большое разнообразие условий уборки зерновых культур, когда в пределах одного хозяйства нередко приходится иметь дело и с высокоурожайными, и низкорослыми яровыми посевами. В список задач государственной программы «Развитие космической деятельности в Республике Казахстан» входит развитие методов дистанционного контроля агротехнических работ, в том числе мониторинг темпов и масштабов уборочной кампании. В работе обсуждаются возможности различных спутниковых систем для осуществления контроля над уборочной кампанией яровых зерновых культур в Северном Казахстане.

## 1. Технологии уборки зерновых культур

При изучении вопроса выбора спутниковой системы для осуществления мониторинга уборочной страды выяснилось, что способ уборки существенно влияет на спектральный образ сельскохозяйственных полей. Поэтому предварительно были рассмотрены всевозможные варианты технологий уборки зерновых культур.

Проведение уборки яровых зерновых культур осуществляется в Северном Казахстане через 90-95 дней после сева. В зависимости от погодных условий вегетационного периода уборка может начинаться от третьей декады августа (жаркие засушливые годы) и заканчиваться в октябре (влажные холодные годы). Обычно требуется около 30 дней для полного завершения уборочной страды на основных площадях Северного Казахстана (свыше 10 млн. га).

В настоящее время уборку проводят с помощью зерновых комбайнов, произведенных в странах как ближнего зарубежья – «Дон» (Украина), «Енисей», Нива (Россия), так и дальнего – «Claas» (Германия), «J. Deere» (США).

По способу уборки применяются два подхода: раздельное и прямое комбайнирование. Свал в валки при раздельной уборке позволяет начать уборочную кампанию раньше. За счет более быстрого высыхания зерна в валках, чем на корню, уборка заканчивается раньше. Тем самым уменьшается риск потерь зерна из-за ранних заморозков. Прямое комбайнирование обеспечивает меньшие потери зерна при намолоте и более экономично, т.к. уборочная техника проходит поле только один раз.

Соломина злаковых культур в процессе уборки претерпевает определенные трансформации. Нижняя часть остается в земле в виде стерни. Верхняя срезанная часть может либо измельчаться

и равномерно разбрасываться вентилятором (комбайны «Claas», «J. Deeg», «Дон»), либо разбрасываться механически с образованием полос соломы шириной 1-1,5 м, либо просто оставляться в виде валка шириной около 0,5 м («Енисей»). Некоторые технические параметры основных используемых типов комбайнов приведены в таблице 1. В случае, когда солома представляет интерес для дальнейшего использования, например в животноводстве, солому собирают в копнителе комбайна. По мере наполнения копнителя, емкостью которого обычно составляет 2-3 куб. метра, на поле оставляются небольшие копна. Расстояние между копнами по ходу движения комбайна определяется густотой культуры и высотой растений. На стандартном поле размера 2х2 км может формироваться от 4 до 16 рядов копен. Комбайнеры стараются оставлять копна на одном расстоянии друг от друга с формированием рядов поперек хода уборки, которые облегчают их дальнейший сбор в скирды для погрузки и вывоза с поля.

Таблица 1. Некоторые технические параметры зерноуборочных комбайнов в Северном Казахстане

Марка комбайна	Варианты ширины жатки (м)		Высота стерни (см)				Разброс соломы: Вентилятор / Механический разбрасыватель	Разброс соломы ширина (м)	Копнитель (куб. м)
			прямое		свал				
	прямое	свал	низкая пшеница	высокая пшеница	низкая пшеница	высокая пшеница			
Енисей	6	6; 10	10-12	10-22	10-12	12-16	Мех.	1,5	2,5-3,0
Нива	4; 5	6; 10	10-12	10-22	10-12	12-16	Вент.	5-10 м с ПУН*	2,5-3,0
Дон	6	6; 10	10-12	10-22	10-12	12-16	Вент.	4-6	-
Claas	6; 8	9	10-12	10-22	10-12	12-16	Вент.	4-7	-
J.Deeg	6,8; 7,8	9	10-12	10-22	10-12	12-16	Вент.	4-7	-

\*ПУН – измельчитель соломы

К раздельной уборке зерновых колосовых культур обычно приступают в начале восковой спелости зерна, когда его влажность находится в пределах 30—35%, и проводить ее в течении 4—6 дней. Прямое комбайнирование начинается с наступлением полной спелости зерна, когда его влажность не превышает 17%, и заканчивать за 5—6 дней. Общая продолжительность уборки зерновых колосовых культур не должна превышать 10—12 дней. Специалисты хозяйства выбирают способ уборки зерновых колосовых культур для каждого участка в зависимости от местных условий, состояния хлебостоя, наличия техники. Площадь раздельной уборки устанавливают с учетом конкретных условий хозяйства, продолжительности фаз созревания хлебов, характера засоренности посевов, условий сушки в валках и наличия уборочной техники.

## 2. Влияние технологии уборки на спектральный образ поля

Спектральный образ поля спелых зерновых культур, стоящих на корню, в основном определяется густотой культуры (число растений на квадратном метре), высотой стебля (см) и степенью засоренности посевов сорными травами (%). Соломина вызревших злаковых растений визуально имеет светло-желтый цвет. По данным наземных измерений, проводимых в 2004 году, спектрометром CROPSCAN/MSR16, получены спектры отражения стерни в видимых каналах (рис. 1). Система сева зерновых культур – рядками: 1-2 см между растениями в ряду и 23 см расстояние между рядами, как правило, обеспечивает присутствие открытой почвы в спектральных образах зерновых полей в Северном Казахстане. На поле поверхность почвы не закрытая растительностью, представлена в основном межрядовыми полосами. Чем выше засоренность, тем выше покрытие сорной растительностью межрядовых полос. Чем реже и ниже культурная растительность, тем меньше ширина рядов

растительности и соответственно шире ряды открытой почвы. При высоте злаковых культур от 80 см и выше и плотности растений свыше 400 растений на квадратном метре приблизительно достигается полное покрытие растительностью почвенной поверхности (рис. 2).

Зерновое поле после уборки может иметь различные спектральные образы. После свала в валки или прямого комбайнирования («Енисей» без копнителя) с механическим разбрасыванием соломы или без него, образуется полосатая текстура поля с характерным пространственным масштабом, соответствующим ширине жатки, обычно 6 - 9 м. Данные дистанционного зондирования способны фиксировать подобные структуры, если пространственное разрешение снимка меньше или сопоставимо с шириной жатки. Например, снимки IRS-Pan (разрешение 6 м) удовлетворяют этим требованиям (рис. 3А). На снимках IRS-LISS (разрешением 23 м), рис. 3В, и тем более в данных MODIS (разрешение 250 м), рис. 3С, за счет пространственной генерализации характерная текстура уборки этого типа полностью теряется.

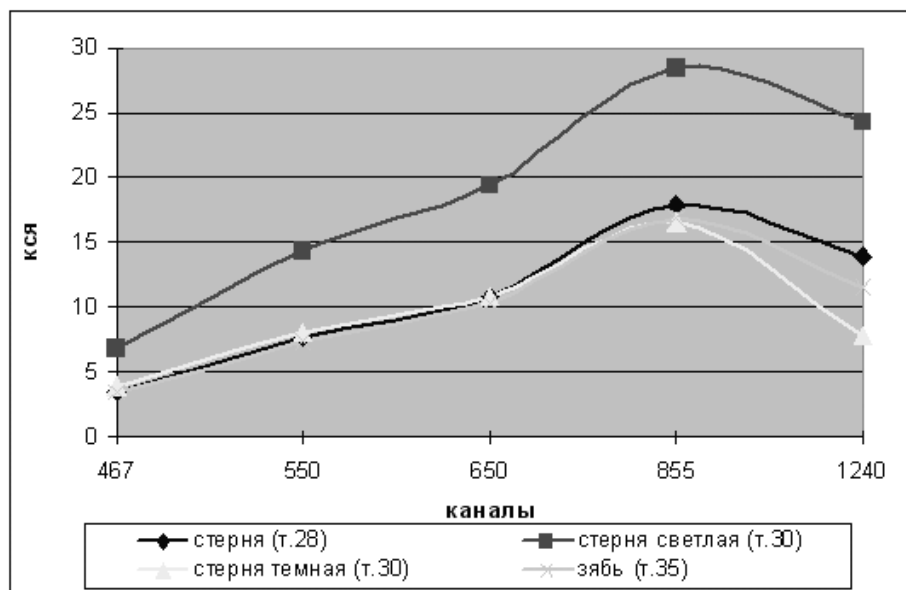


Рис. 1. Различные спектры отражения скошенной соломы. Октябрь 2004 г.

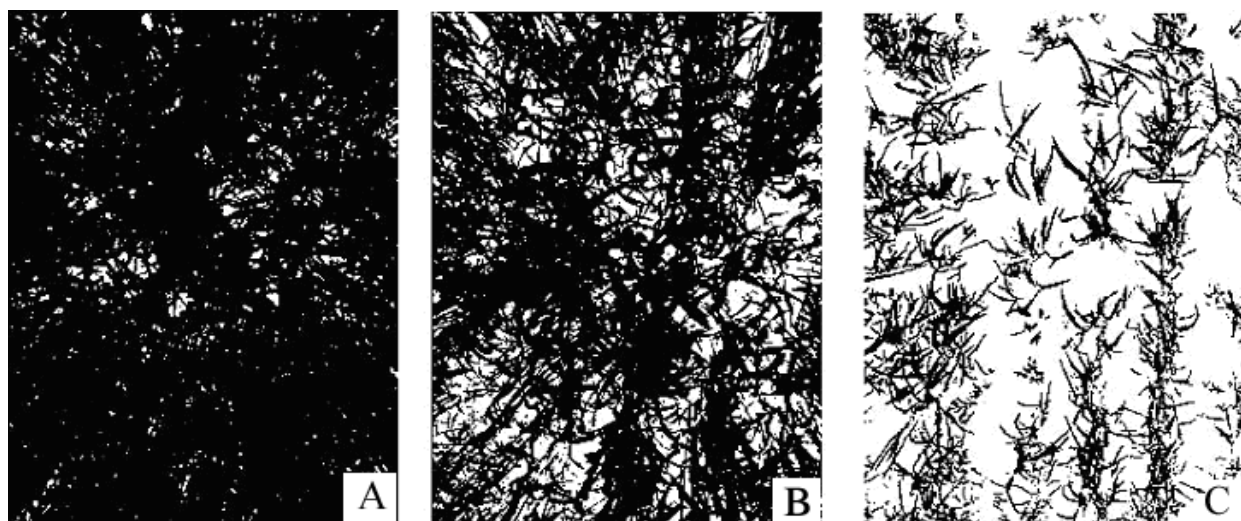


Рис. 2. Типичные примеры различной степени листового покрытия на зерновых полях Северного Казахстана. Белый цвет - почва, черный - зеленая биомасса

- А - отличное состояние пшеницы (плотность 400-450 стеблей на кв. метр, высота свыше 80 см);
- В - хорошее состояние (плотность 250-300 стеблей на кв. метр, высота 60-80 см);
- С - плохое, изреженное состояние (плотность 100-150 стеблей на кв. метр, высота 30-50 см)

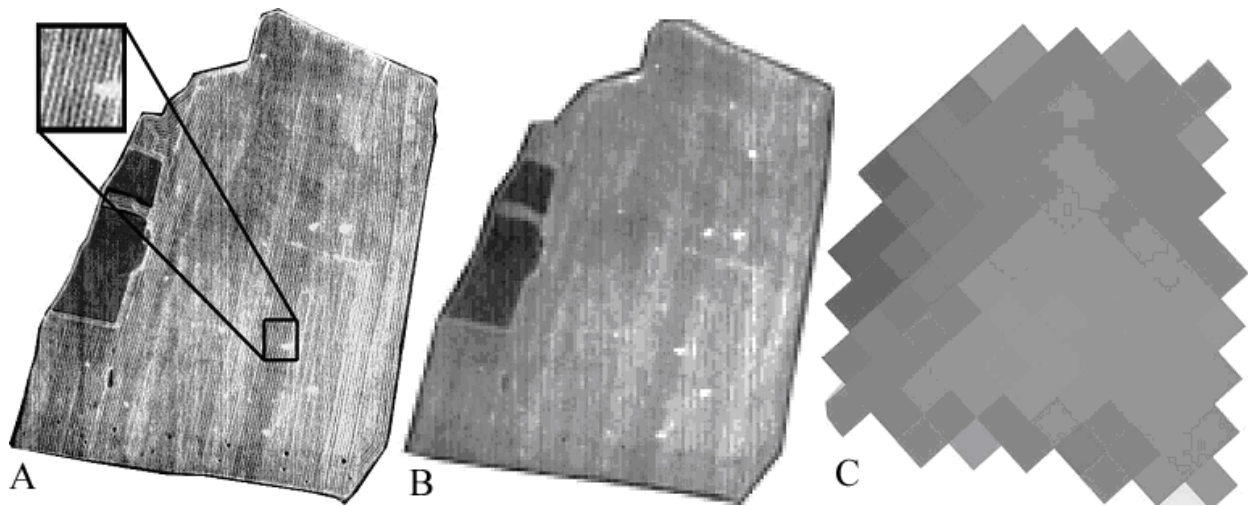


Рис. 3. Космическая съемка зернового поля хозяйства «Андреевский», Акмолинская область 17 сентября 2004 года: А – IRS/Pan (разрешение 6 м); В – IRS/LISS, band 2: 620-680 нм (разрешение 23 м); С – TERRA/MODIS, and 1: 620-670 нм (разрешение 250 м)

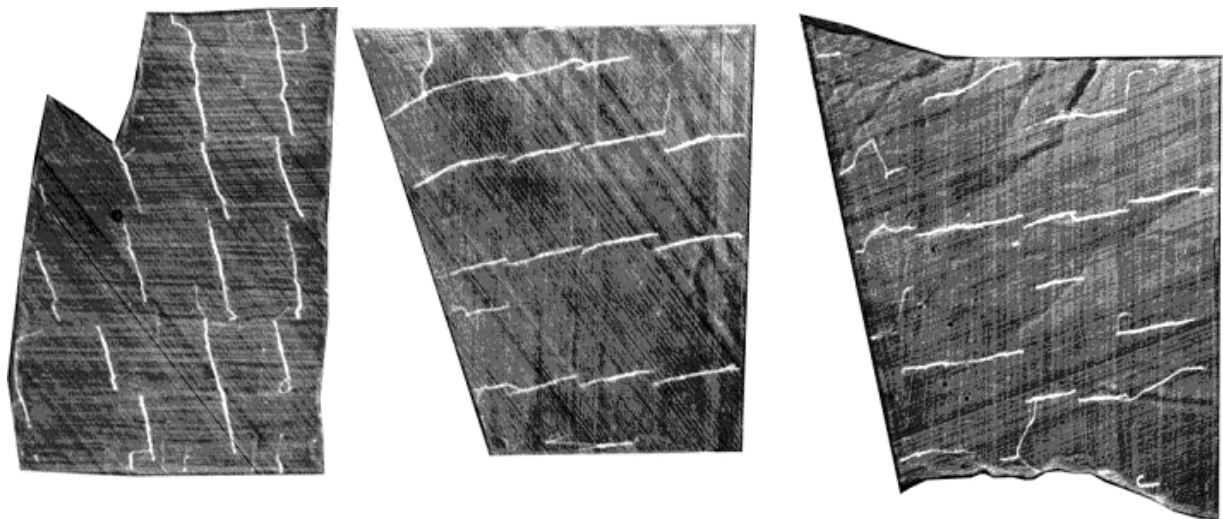


Рис. 4. Примеры текстур полей Акмолинской области после уборки комбайнами с копнителями. Космоснимок IRS-Pan на 17 сентября 2004 года. Белые полосы – ряды копен

Сбор соломы на поле после уборки (прямое комбайнирование с копнителем или вторая фаза свала – обмолот валков комбайном с копнителем) формирует другую текстуру, связанную с системой копен (рис. 4), или следами после их сбора и вывоза (рис. 5). Пространственный масштаб текстуры определяется расстоянием между рядами копен, которое зависит от количества соломы имеющейся на поле. При объеме копнителя 2-3 кубических метров это расстояние обычно варьируется от 100 до 500 м. Подобные текстуры детально фиксируются на снимках IRS-Pan, неплохо различимы на IRS-LISS, однако на снимках MODIS они не регистрируются (рис. 6).

В последние годы все большее распространение приобретает способ прямого комбайнирования с измельчением и разбросом соломы с помощью вентилятора. Эта технология является наиболее распространенной в развитых странах. Новые комбайны такие, как «Дон», «Claas», «J.Deer», предназначены для проведения уборки зерновых культур этим способом. Разброс соломы рекомендуется как необходимая процедура для поддержания плодородия почв и улучшения ее структуры.



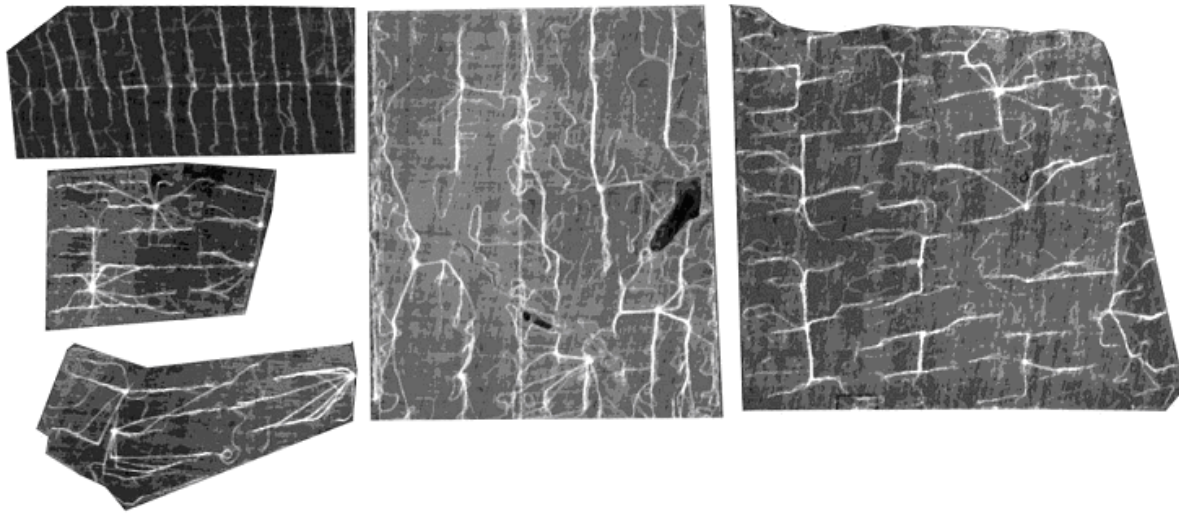


Рис. 5. Примеры текстур полей Акмолинской области после уборки комбайнами с копнителями, сбора и вывоза соломы. Космоснимок IRS-Pan на 17 сентября 2004 года. Белые полосы – ряды копен. Белые полосы – следы сбора копен, крупные белые точки на пересечении белых полос – места скирдования

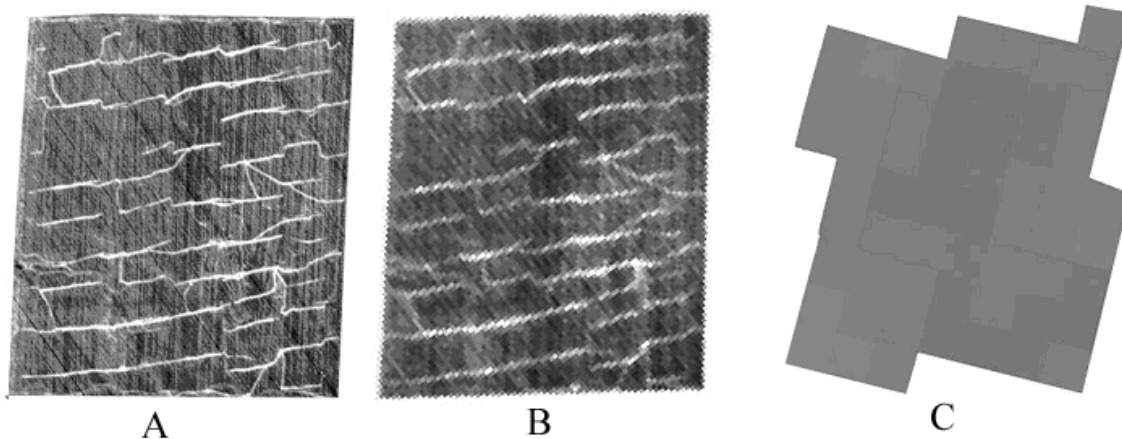


Рис. 6. Снимок зернового поля х-ва «Андреевское», 17 сентября 2004 года: А - IRS-Pan (разрешение 5,6 м); В- IRS-Liss, band 2 (23 м); С – MODIS, band 1 (250 м)

Данные дистанционного зондирования, как высокого, так и среднего разрешения, фиксируют уборку зерновых культур с разбросом соломы, в виде простого увеличения яркости поля в оптическом и ближнем инфракрасном диапазонах спектра. Равномерный разброс соломы не формирует полос с резко отличающимися спектральными характеристиками, хотя определенная текстура поля имеется (рис. 7). Текстурные особенности в виде крупномасштабных пятен вызваны неоднородностью развития зерновых культур и соответственно различным количеством соломы, разбрасываемым вентилятором. Полосы вдоль хода уборки, вероятно, являются особенностями режима работы комбайнов.

Измельченная солома формирует высокое покрытие растительной биомассой поверхности земли и соответственно высокие коэффициенты отражения в видимом и ближнем инфракрасном частях спектра. Численные значения изменений коэффициентов отражения после уборки зависят от количества соломы, т.е. от высоты растений. Однако в любом случае следует ожидать их повышения относительно состояния до уборки. Это связано с архитектурой растительной биомассы. Вертикально ориентированные стебли, даже при 100% покрытии поверхности, имеют меньшие коэффициенты отражения, чем горизонтально ориентированные. На спутниковых снимках EOS MODIS резкое увеличение коэффициента отражения поля указывает на проведение уборки прямым комбайнированием с разбрасыванием соломы (рис. 8).

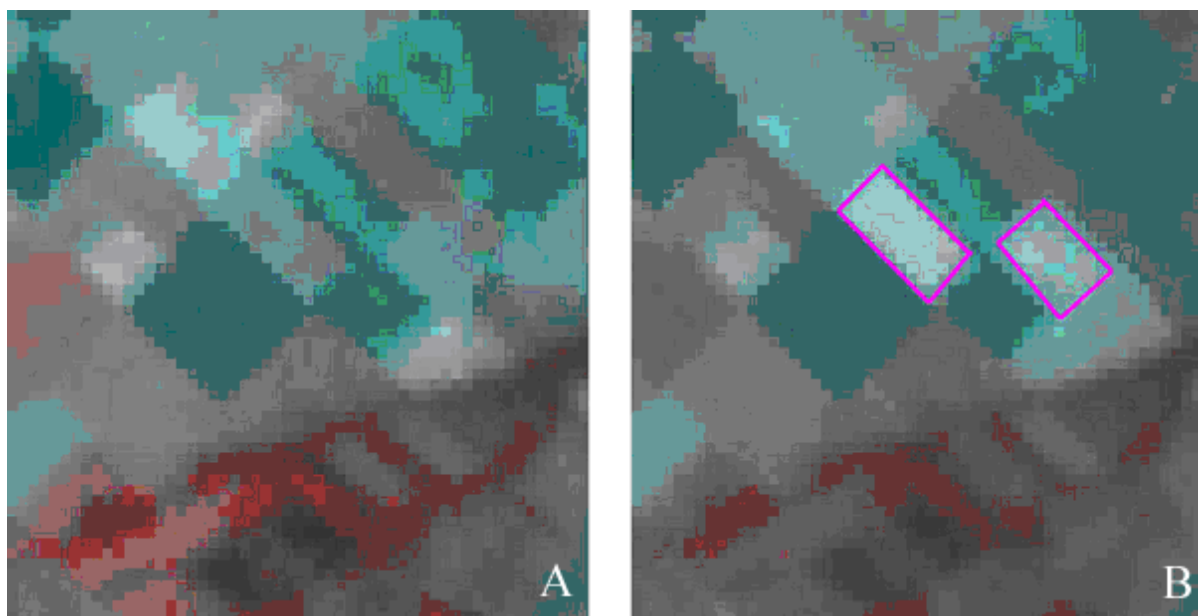


Рис. 7. Примеры полей Акмолинской области убраных прямым комбайнированием с разбросом соломы вентилятором. А – снимок IRS-Pan (разрешение 5,6 м); В - снимок IRS-LISS (23 м) 17 сентября 2004 г.

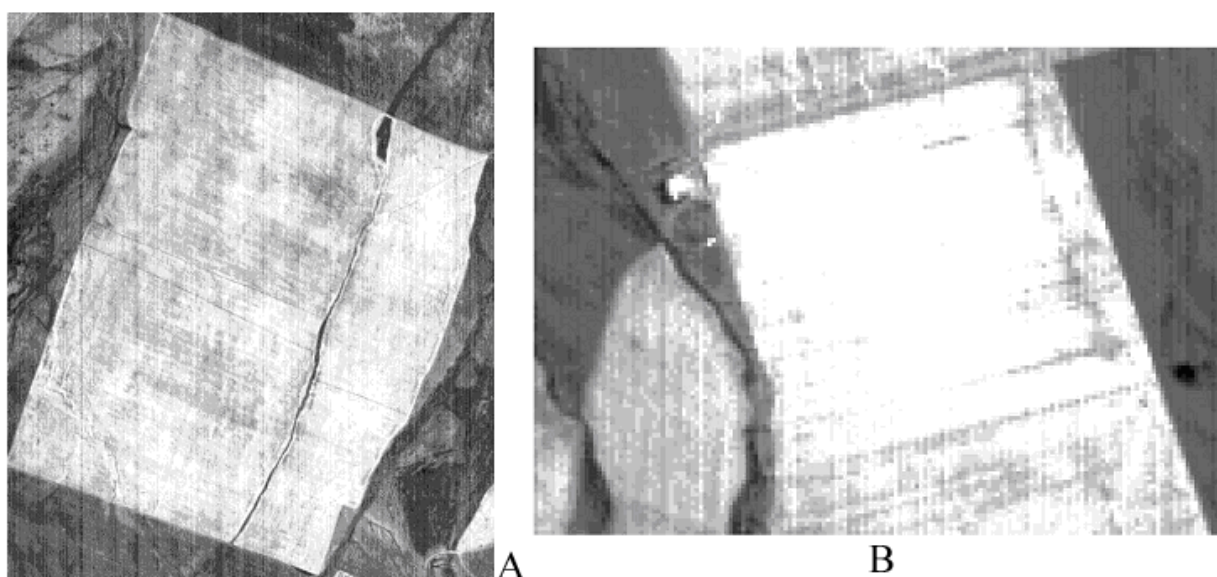


Рис. 8. Пример изменений спектральных характеристик полей, связанных с уборкой зерновых культур. Снимки EOS MODIS, псевдоцветной композит RGB (211). А – 26 августа; В- 27 августа 2004 г.

### 3. Заключение

Таким образом, уборка зерновых полей на территории Северного Казахстана уверенно фиксируется с помощью спутниковых данных высокого разрешения, например IRS/Pan (разрешение 6 м). В процессе уборки на поле появляются характерные текстуры, связанные с технологией проведения уборки: (1) упорядоченная, строго регулярная полосатость с характерным масштабом 6-9 м при свале пшеницы в валки; (2) нерегулярная полосатость с характерным масштабом от 100 до 500 м при копновании соломы и сборе ее в скирды; (3) изменение общей тональности снимка, связанное с трансформацией растительной биомассы и ее новой пространственной организацией на поверхности почвы. Наиболее сильно это проявляется при прямом комбайнировании с равномерным разбросом соломы вентилятором.

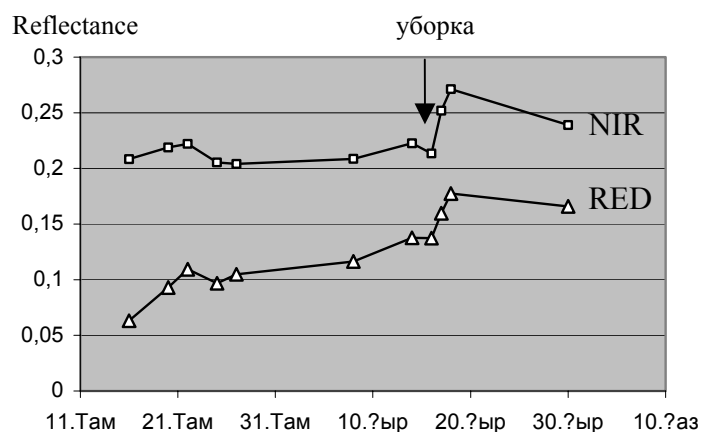


Рис. 9. Динамика изменения значений 1,2 канала EOS MODIS (разрешение 250 м) тестового поля с прямым комбайнированием и разбрасыванием соломы

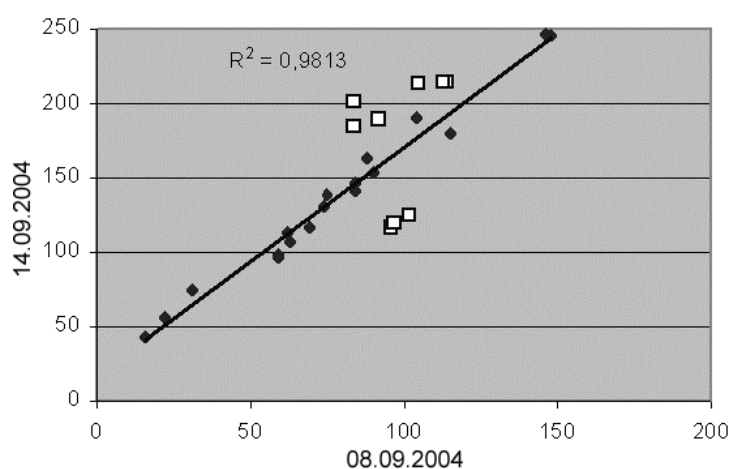


Рис. 10. Взаимосвязь между средними коэффициентами отражения отдельных полей по данным EOS MODIS band 2 за 8 и 14 сентября 2004 года. Территория Акмолинской области. Белые квадраты – для полей с изменившимися спектральными характеристиками, черные – для полей без изменения спектральных характеристик

Данные с несколько худшим разрешением, например IRS/LISS (разрешение 23 м), регистрируют систему копнования и общее изменение тональности. Свал пшеницы в валки может регистрироваться по изменению средней тональности, если в среднем коэффициенты отражения стерни и валка отличаются от исходной пшеницы. Наилучшим способом для понимания изменений спектральных параметров поля является анализ снимков полей, находящихся в процессе уборки. В некоторых случаях распознаванию уборки может помочь появление слабо выраженной регулярной полосатости переменного масштаба вдоль направления уборки.

Спутниковые данные среднего разрешения, такие как EOS MODIS (разрешение 250м) способны регистрировать только изменения средней тональности поля. Резкие изменения тональности поля в течение нескольких дней указывают на проведение на нем уборки (рис. 9). Количественные характеристики этого изменения зависят от объема растительной биомассы до уборки, способа уборки и марки комбайна. Только в случае прямого комбайнирования с равномерным разбросом соломы с помощью вентилятора средние коэффициенты отражения увеличиваются. В остальных случаях изменения могут быть как в сторону увеличения, так и в сторону уменьшения среднего коэффициента отражения поля.

Один из возможных путей распознавания проведения уборки полей состоит в поиске наличия резких изменений в средних спектральных характеристиках на базе ежедневных мониторинговых

данных, анализе пар снимков ближайших дат и регистрации мест с существенными их изменениями. На рис. 10 показан образец анализа двух снимков MODIS территории Акмолинской области за 8 и 14 сентября. Сравнивались изменения средних по полю значений 2 канала MODIS. В осенний период естественная динамика состояния вегетации практически отсутствует. Засохшие остатки травяного растительного покрова на пастбищах и спелые злаковые культуры на полях формируют практически неизменные во времени спектральные характеристики. Только проведение уборки обеспечивает динамику спектральных параметров полей. Сравнительный анализ средних по полям значений 2 канала MODIS между снимками двух разных дат показывает, что все поля с изменившимися спектральными характеристиками будут регистрироваться, как точки, существенно отклонившиеся от прямолинейной зависимости.