

5 – ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СПУТНИКОВЫХ СНИМКОВ ДЛЯ ОЦЕНКИ ОРОШЕНИЯ

А. Е. Платонов, Б. Винсент

Реферат: Серии декадных (10-дневных) растровых слоев NDVI спутниковых снимков SPOT Vegetation за 1999 – 2002 г.г. использованы для: классификации землепользования, в основном для уточнения границ орошаемых площадей; анализа декадных изменений средних значений NDVI для различных единиц агрегирования (зон орошения Ферганской Долины, административных районов Ферганской области, и коллективных хозяйств Кувинского района). Дополнительно использовались два спутниковых снимка Landsat-7 ETM+ на 28/04/2001 и 02/08/2001 для: классификации основных сельскохозяйственных культур (озимой пшеницы и хлопка), на основе анализа значений NDVI; распознавания засоления почв путем расчета индекса неравномерности значений NDVI (коэффициента вариации) в пределах каждого орошаемого поля двух выбранных участков. Совместное использование снимков с обоих спутников (SPOT Vegetation и Landsat-7), вместе со слоем полигонов ГИС орошаемых полей, применено для моделирования декадных значений коэффициентов сельскохозяйственных культур (Kс) из значений NDVI. Результаты моделирования могут использоваться для корректировки с учетом местных условий значений Kс, рекомендованных в руководстве по расчету потребности сельскохозяйственных культур в воде (FAO-56), как альтернатива другим методикам, использованным в этом проекте.

Ключевые слова: Спутниковое зондирование Земли, Продукты SPOT Vegetation, Спутниковые снимки Landsat-7 ETM+, Индекс Нормализованного Различия Растительности NDVI, Классификация сельскохозяйственных культур, Распознавание засоления почв, Моделирование коэффициентов сельхозкультур.

Введение

Использование спутниковых снимков для управления земельными и водными ресурсами стало технически возможным, начиная с конца семидесятых годов прошлого века. Мультиспектральные снимки низкого пространственного разрешения (1100 м) со спутников NOAA AVHRR использовались для классификации землепользования/покрытия земли и при мониторинге процессов орошения и дренажа как на больших (Bastiaanssen, 1998), так и маленьких площадях (Chemin *et al.*, 2004).

Недавно (в 2000 г.) запущенный спутник TERRA с сенсором MODIS имеет улучшенное спектральное (36 каналов) и пространственное (250 м – 1000 м) разрешение, и дает новые возможности для дальнейших исследований (Gitelson and Kaufman, 1998; Milne и Cohen, 1999; Zhan *et al.*, 2002). 4-х канальные снимки спутника SPOT Vegetation (с 1998 г.) и результаты их обработки (NDVI, DMP) покрывают большие территории и имеют пространственное и временное разрешение 1000 м и 10 дней, соответственно. Эти снимки используются для наблюдения за сельхозкультурами и прогноза урожайности (Eerens *et al.*, 2001). Основным достоинством снимков низкого пространственного разрешения является их высокое временное разрешение, то есть возможность получения снимков исследуемой территории с помощью Internet даже дважды за день (для MODIS) и бесплатно.

Снимки, полученные серийой спутников Landsat с различными сенсорами (MSS, TM, ETM+) используются очень широко. Пространственное разрешение этих мультиспектральных снимков варьируется от (56 м*89 м) для MSS до 28.5 м для сенсоров TM и ETM+. Временное разрешение - 16 дней, но учитывая присутствие облачности, обычно доступны 3-4 безоблачных спутниковых снимка за год. Снимки Landsat являются основным источником для исследований на уровнях от

регионального и до поля и для различных задач (Bastiaanssen, 1998; Vincent *et al.*, 1996; Metternicht and Zinck, 2003).

Кроме Landsat, есть и другие источники спутниковых снимков: из Франции (SPOT HRV), Индии (IRS LISS), России (РЕСУРС), но их стоимость значительно выше, чем Landsat. Более приемлемы по цене снимки сенсора ASTER, расположенного на том же спутнике (TERRA), на котором расположен сенсор MODIS. Мультиспектральные (15 каналов) снимки ASTER имеют пространственное разрешение от 15 до 60 м. Снимки сенсора ALI спутника EO-1 является следующим поколением данных спутников типа Landsat, с улучшенным спектральным разрешением (9 каналов).

Мультиспектральные снимки высокого пространственного разрешения (0.6 м – 4 м) доступны со спутников IKONOS (4 канала) и Quickbird (4 канала), и их цены также очень высоки. Эти снимки могут эффективно использоваться для тщательного ведения сельхозпроизводства (Staenz and Williams, 1997; Pacheco *et al.*, 2001).

Снимки сенсора Hyperion со спутника EO-1 являются первыми гиперспектральными (220 каналов) данными из космоса. Снимки имеют пространственное разрешение 30 м и являются отличным источником данных для распознавания засоления почв (Metternicht and Zinck, 2003) и других задач (McNairn *et al.*, 2001).

Данные радаров (JERS SAR и Radarsat) являются семейством активных спутниковых сенсоров. Благодаря своей способности проникать сквозь облачность, радарные снимки обычно используются в тропиках или в других ситуациях, связанных с наличием облачности. Снимки также используются для анализа пространственного распределения влажности почвы на небольшой глубине.

Исходные данные

Для целей исследования использовались декадные (10 дней) продукты снимков SPOT Vegetation – растровые слои индекса состояния растительности (NDVI) за 1999, 2000, 2001 и 2002 годы; а также два мультиспектральных снимка Landsat-7 ETM+ на 28/04/2001 и 02/08/2001.

Для пространственного анализа использовались следующие слои ГИС :

- Основные зоны орошения Узбекской части Ферганской Долины;
- Административные районы Ферганской области Узбекистана;
- Коллективные хозяйства Кувинского района Ферганской области;
- Поля орошения одного коллективного хозяйства Кувинского района Ферганской области;
- Поля орошения трех коллективных хозяйств Ахунбабаевского района Ферганской области.

Имеющиеся в наличии спутниковые снимки использовались для исследований в следующих направлениях:

1. Классификации землепользования на основе декадных (10 дней) профилей SPOT Vegetation NDVI.
2. Анализа декадных значений SPOT Vegetation NDVI, средних по различным единицам агрегирования (зонам орошения, административным районам, коллективным хозяйствам) для интервала лет с 1999 по 2002.
3. Классификации основных культур (хлопчатника, озимой пшеницы) на основе средних значений NDVI для каждого орошаемого поля по двум снимкам Landsat-7 ETM+ за 2001 год.
4. Распознавание засоления почв путем анализа индекса неравномерности значения NDVI для каждого орошаемого поля.
5. Моделирование декадных значений коэффициентов (K_c) основных культур из значений NDVI по каждому орошаемому полю.

Классификация землепользования

Из каждого декадного снимка SPOT Vegetation NDVI для интервала лет с 1999 по 2002, был вырезана территория Ферганской Долины, и декадные растровые слои для каждого года были объединены в один снимок. В результате получены четыре (для каждого года) 36-канальных снимка (каждый канал содержит значения NDVI на одну декаду).

Затем по каждому 36-канальному снимку декадных NDVI была выполнена неконтролируемая классификация (с назначением 12 классов). Результаты классификации для 2002 года показаны на Рис. 1.

Профили декадных значений NDVI для типичных пикселей в пределах темно-зеленых областей (имеющих хорошее состояние растительности), и пикселя с голой почвы в период вегетации, показаны на Рис. 2. Два пика на временном профиле NDVI для орошаемых площадей соответствуют двум основным культурам (озимой пшенице и хлопчатнику), культивируемым на исследуемой площади. В марте, основном сезоне дождей, пик NDVI для неорошаемой территории связан с наличием богарных пастбищ.

Так как для проведения полной классификации землепользования не было доступных наземных данных, полученные результаты были в основном использованы для уточнения слоя ГИС границ зон орошения Ферганской Долины.

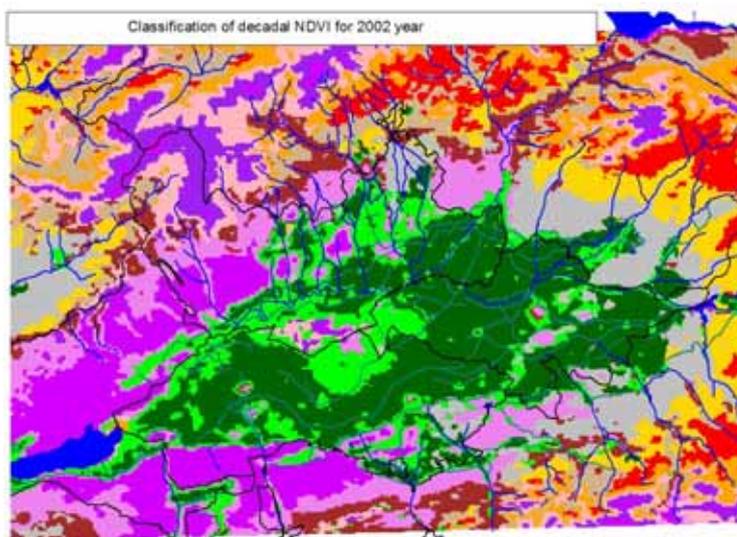
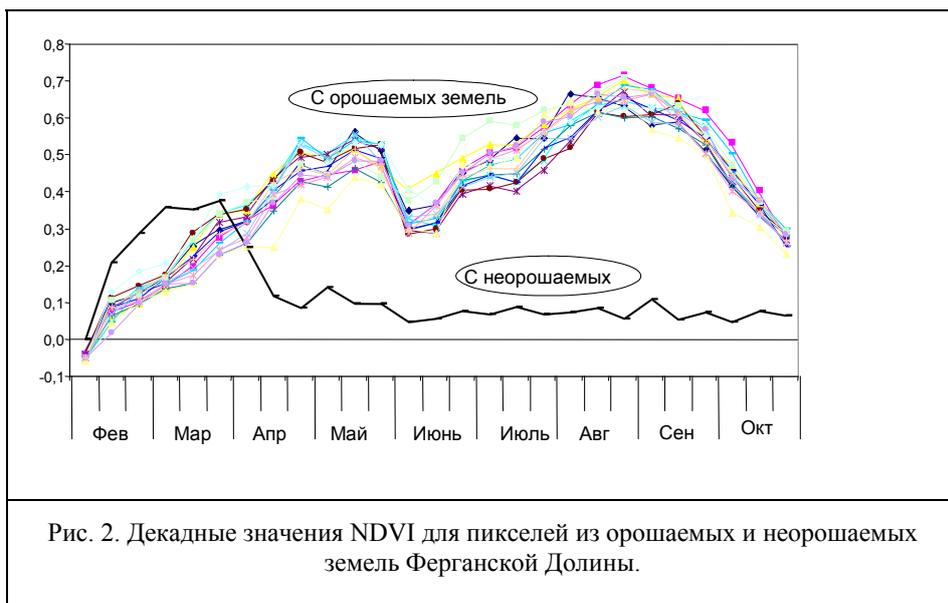


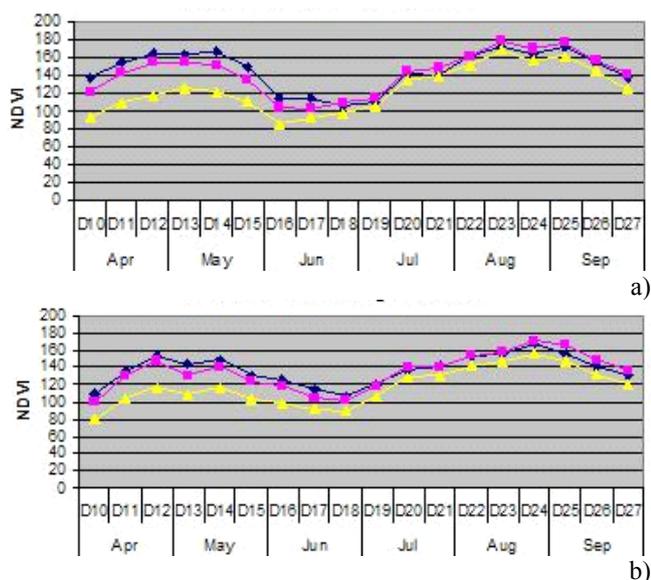
Рис. 1. Результат классификации землепользования для Ферганской Долины на 2002 год.





Анализ декадных значений SPOT Vegetation NDVI

Пространственным наложением полигонов слоев ГИС зон орошения Ферганской Долины, административных районов Ферганской области и коллективных хозяйств Кувинского района на растровые слои SPOT Vegetation NDVI вычислены средние значения NDVI по различным единицам агрегирования для каждой декады 1999-2002 годов. Для анализа использовались оригинальные значения пикселей SPOT Vegetation NDVI, находящиеся в интервале (0-255). Временные профили средних значений NDVI для основных зон орошения Ферганской Долины (для 1999-2002 годов) показаны на Рис. 3.



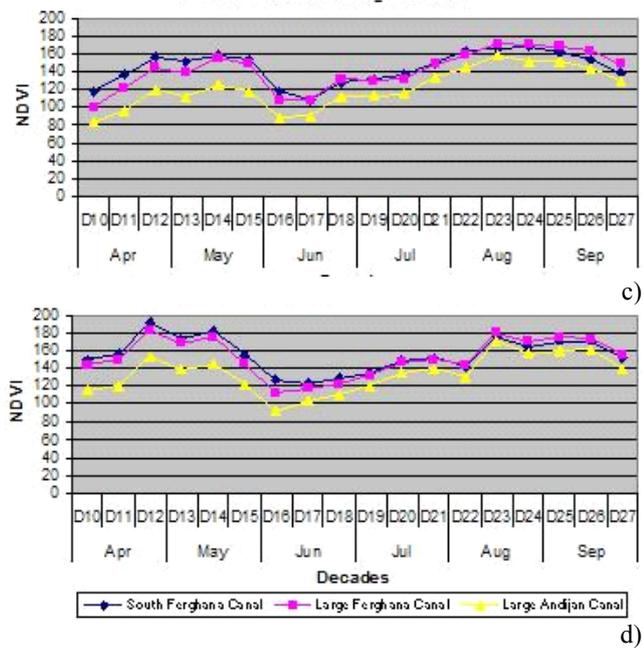
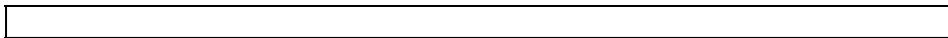
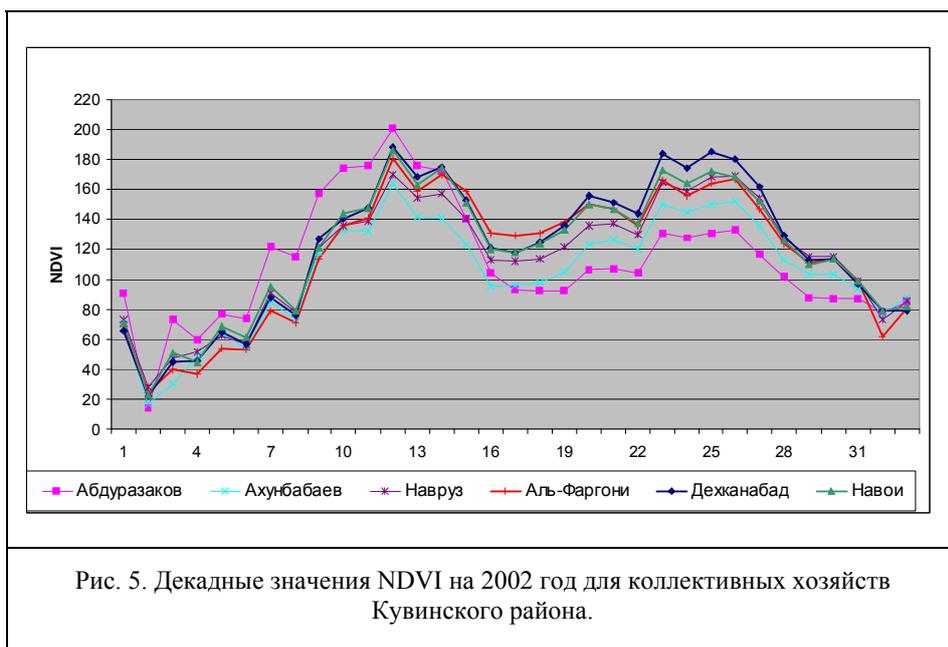
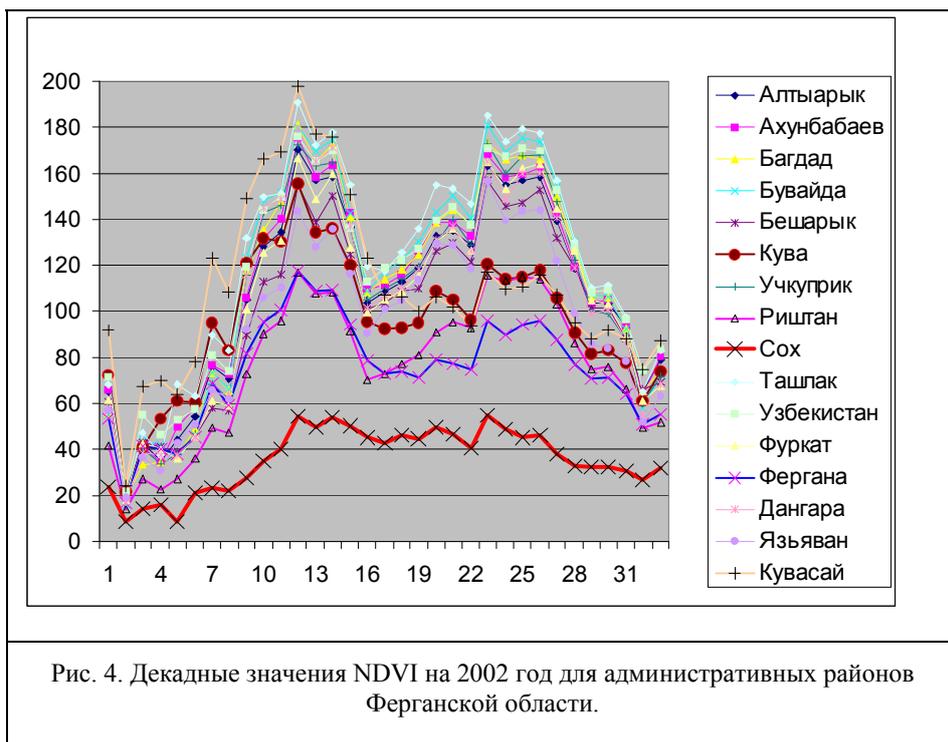


Рис. 3. Декадные значения NDVI для основных зон орошения Ферганской Долины: а) 1999, б) 2000, в) 2001 и г) 2002.

Временные профили средних значений NDVI для административных районов Ферганской области на 2002 год показаны на Рис. 4. Такие же профили для некоторых коллективных хозяйств Кувинского района Ферганской области на 2002 год представлены на Рис. 5.





Результаты обработки снимков SPOT Vegetation NDVI показывают, что для разных единиц площади (пикселей, зон орошения основных оросительных каналов, административных районов и коллективных хозяйств) декадный профиль NDVI различен, причина этого в разной продуктивности земли, пространственной и временной неоднородности доступности воды на орошение и пр. Для анализа причин, влияющих на декадное состояние растительности необходимо продолжить дальнейшие исследования.

Полученные результаты могут использоваться лицами, принимающими решения на региональном уровне для локализации мест, с градацией состояния растительности (регулярно высокие, средние и низкие значения NDVI) с целью более эффективного управления водными и земельными ресурсами, особенно в условиях дефицита воды на орошение.

Классификация основных культур

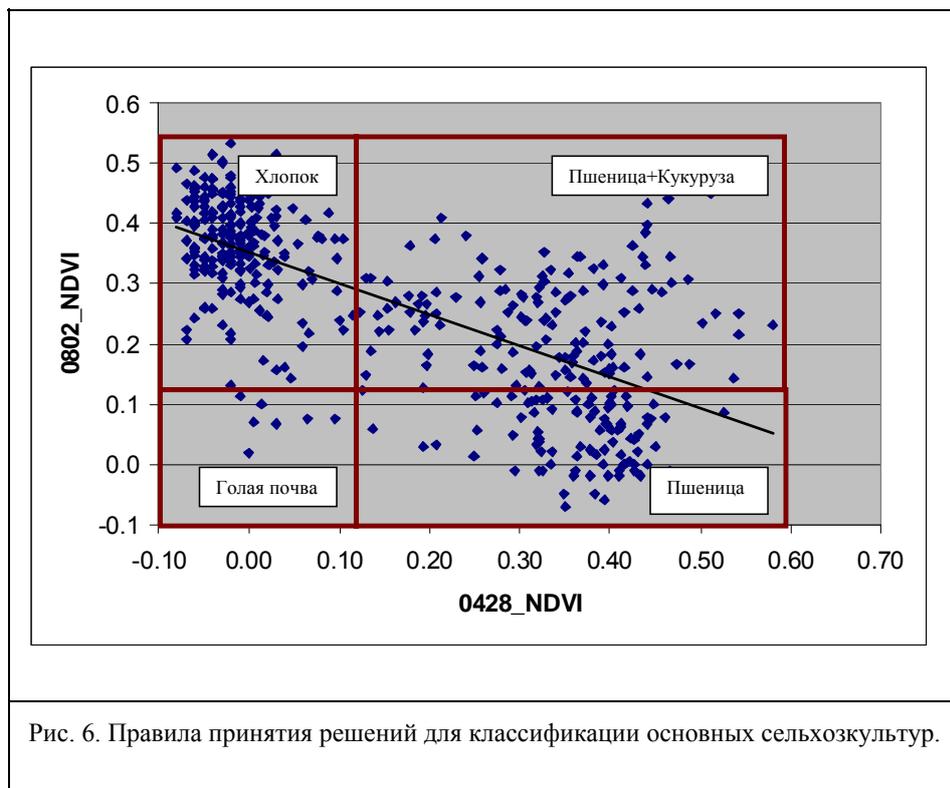
Известно, что значения Индекса Нормализованного Различия Растительности (NDVI) являются количественной мерой состояния растительности. Для снимков Landsat значения NDVI вычисляются по следующей формуле:

$$NDVI = (Band4 - Band3) / (Band4 + Band3) \quad [1]$$

где: Band4 и Band3 – номера разрядов (значения пикселей) в инфра-красном (Band4) и красном (Band3) каналах снимка.

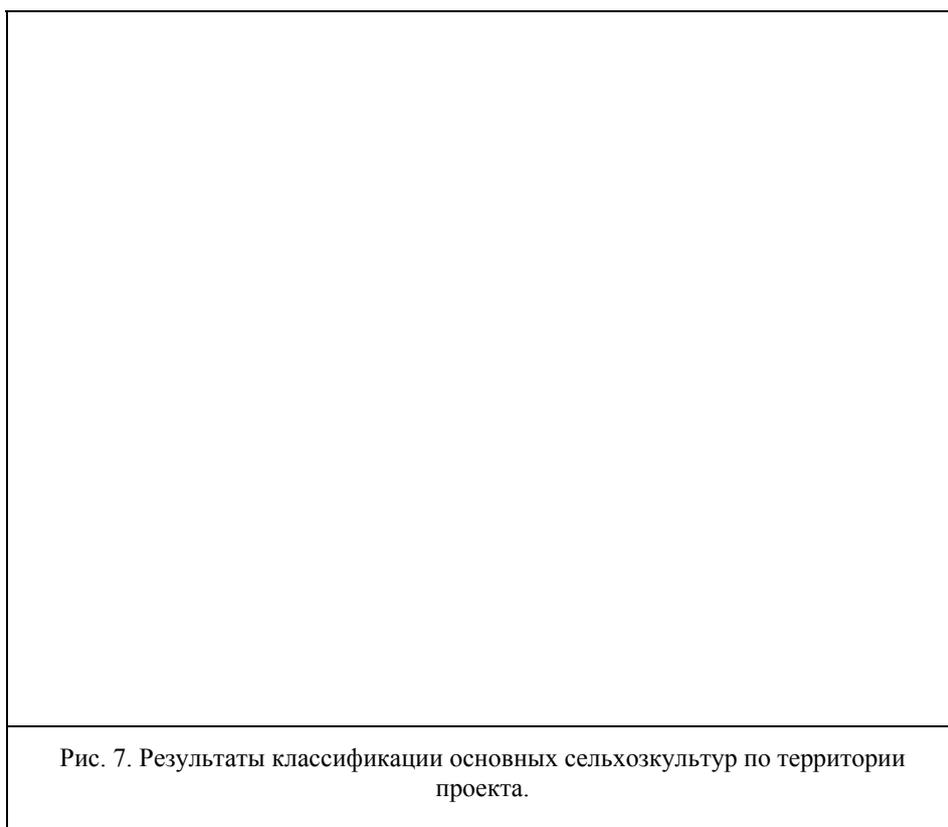
Пространственным наложением слоя ГИС полигонов орошаемых полей на созданные растровые слои NDVI на основе двух снимков Landsat-7 ETM рассчитаны средние значения NDVI на две даты для каждого орошаемого поля территории проекта. Вычисленные значения NDVI занесены в два поля (NDVI_0428 and NDVI_0802) таблицы отличительных черт слоя ГИС полигонов орошаемых полей.

Для всех записей таблицы отличительных черт были последовательно применены четыре пространственных фильтра с использованием правил принятия решения, показанных на Рис. 6. Для выбранных записей по каждому фильтру были занесены значения в созданное поле отличительных черт (C2001) – код основной сельхозкультуры (“В”- голая почва в течении года; “С” – хлопчатник; “WM” – кукуруза после озимой пшеницы; “W” – озимая пшеница).



Важным этапом является выбор порогового значения NDVI при наличии растительности, после нескольких итераций было выбрано значение NDVI, около 0.2.

Все полигоны населенных пунктов были классифицированы как “WM”, для их выделения в отдельный класс требуется визуальный анализ пикселей снимков Landsat-7 в пределах полигонов слоя ГИС. Населенные пункты очень четко выделяются при визуальной интерпретации, и для каждого полигона населенного пункта было назначено значение в новом атрибутивном поле (LUC) – код землепользования. На Рис. 7 показан результат классификации основных сельхозкультур для каждого орошаемого поля территории проекта. К сожалению, надежные наземные данные для оценки точности проведенной классификации основных сельхозкультур отсутствовали. Были доступны только данные о структуре посевов для 16 орошаемых полей фермерского хозяйства «Азизбек-1» и они полностью соответствуют результатам классификации основных культур по спутниковым снимкам (100 % точность).



Распознавание засоления почв

Существуют различные методы распознавания засоления почв по спутниковым снимкам. Типичный метод основан на анализе значений пикселей в различных спектральных каналах снимка. Но точность распознавания очень зависит от размера пятен засоления почв, находящихся в пределах каждого орошаемого поля. Учитывая пространственное разрешение мультиспектральных снимков Landsat-7 (30 м*30 м или 0.09 га), при размере пятен засоления почв, меньше, чем размер пикселя, распознать засоление невозможно. Единственный путь решения этой проблемы – использование снимков с высоким пространственным разрешением, выполненных с таких спутников, как: IRS, IKONOS или QuickBird.

Ферганская Долина не лучшая территория для распознавания засоления, так как не содержит больших площадей, подверженных засолению, особенно с солевой коркой на поверхности почвы, это подтвердилось в течении рекогносцировочного наземного обследования. Были обнаружены только несколько мест в Кувинском районе, имеющие проблемы с засолением почв. Вот почему было принято решение использовать две территории для сравнительного исследования по засолению почв: зону проекта в Ахунбабаевском районе и тестовую зону в Кувинском районе.

Распознавание засоления почв, использованное при исследовании, основано на анализе пространственной неравномерности покрытия растительностью каждого орошаемого поля. При этом было сделано предположение, что основной причиной пространственной неоднородности NDVI на орошаемых полях является засоления почв. Очевидно, что возможны и другие причины неоднородности состояния растительности, такие как: нехватка оросительной воды, плохая планировка полей, отсутствие удобрений, и прочие причины. Фактически, обработкой спутниковых снимков лишь для одного года невозможно распознать причины пространственной неоднородности NDVI. Это достижимо только при анализе сезонных спутниковых снимков за ряд (2-3) лет, путем создания пространственного фильтра для выделения орошаемых полей, с регулярно высокой неоднородностью состояния растительности (NDVI).

На Рис. 8 показаны результаты частотного анализа индекса неоднородности NDVI на 28/04/2001 для зоны проекта в Ахунбабаевском районе и тестовой зоны в Кувинском районе. Полученные уравнения зависимости, соответственно:

$$y = 0.1352 e^{0.0092x} \quad \text{с } R^2 = 0.9398, \text{ и}$$

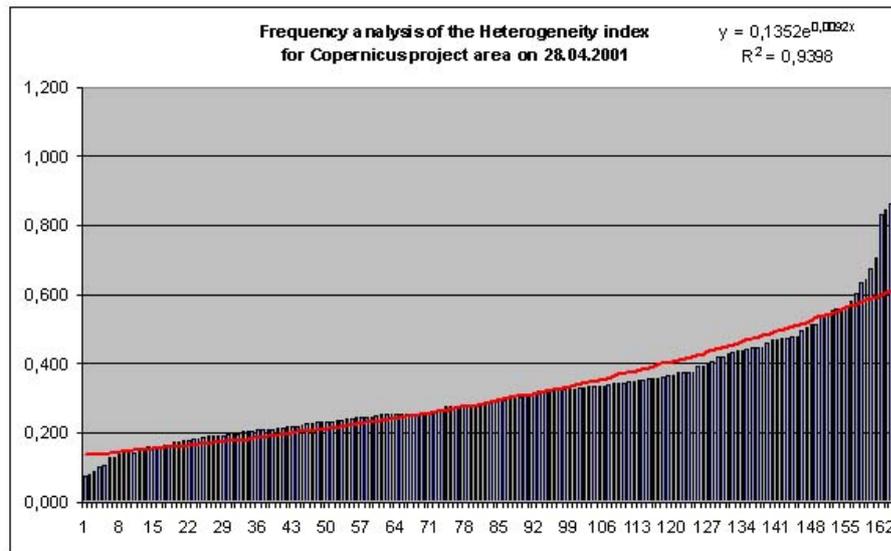
$$y = 0,1748 e^{0,014x} \quad \text{с } R^2 = 0.908,$$

указывают на хорошее совпадение данных.

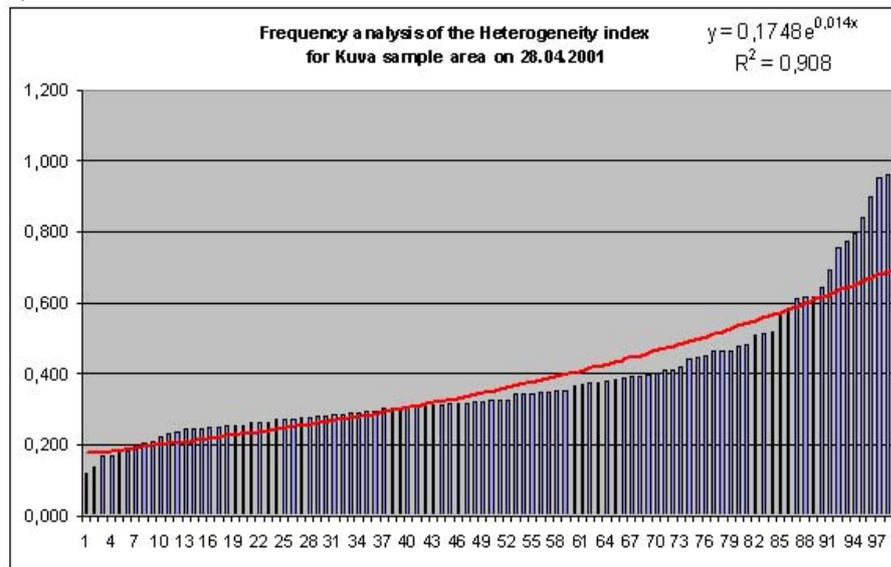
В сравнении с зоной проекта в Ахунбабаевском районе, тестовая зона в Кувинском районе содержит большее количество орошаемых полей с высокими значениями индекса неоднородности (HI) растительности (между 0.6 и 1.0), это может быть связано со свойствами почв, в частности, с засолением.

Однако, для проверки пространственной стабильности вычисленных индексов неоднородности состояния растительности для различных лет и сезонов, необходимо использование спутниковых снимков Landsat-7 для исследуемых зон за ряд лет. Орошаемые поля с регулярно высокими значениями HI и низкими NDVI являются первоочередными кандидатами на сбор детальных наземных данных с измерениями и оценками степени засоления почв.

Корреляция между значениями индекса равномерности растительности (HI) и состояния растительности (NDVI), средних по каждому орошаемому полю, может использоваться как показатель продуктивности использования орошаемых земель (Рис. 9). В правой стороне графика расположены орошаемые поля с высокими значениями NDVI и низкой неоднородностью растительности (сельхозкультуры в хорошем состоянии), а в левой части можно видеть поля с низкими значениями NDVI и высокой неоднородностью растительности (т.е. необходимы меры по улучшению ситуации).



a)



b)

Рис. 8. Частотный анализ индексов неоднородности NDVI для: а) зоны Ахунбабаевского района и б) тестовой зоны Кувинского района.

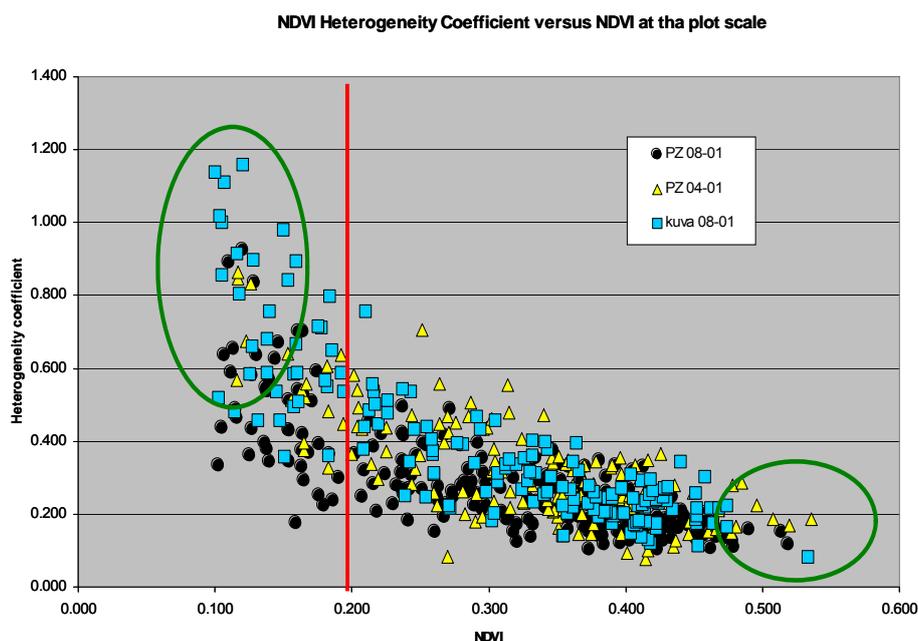


Рис. 9. Значения индекса неравномерности (НИ) и состояния растительности (NDVI) для орошаемых полей.

Моделирование декадных значений коэффициентов (Кс) основных сельхозкультур

Так как пиксели снимков SPOT Vegetation покрывают «на земле» площадь в 100 га, а обычный размер орошаемого поля от 4 до 10 га, в пределах орошаемых площадей Ферганской Долины невозможно найти «чистый» пиксель, представленный только одной сельхозкультурой. Таким образом, при использовании снимков SPOT Vegetation всегда приходится иметь дело со «смешанными» пикселями, содержащими информацию как о растительности, так и о голой почве.

Для моделирования декадных значений коэффициентов (Кс) основных сельхозкультур, необходимо использование данных из трех источников:

1. Декадные снимки SPOT Vegetation NDVI;
2. Снимки Landsat-7 ETM+, на даты максимума развития растительности основных сельхозкультур (в нашем случае: озимой пшеницы и хлопчатника); и
3. Слой ГИС полигонов орошаемых полей.

На первом этапе был выполнен анализ соответствия спутниковых данных из этих источников, так как планировалось одновременно использовать данные разных сенсоров с различным пространственным разрешением. Для этого был проведен анализ корреляции между деградированными (до 600 м) значениями NDVI исходных снимков Landsat-7 (30 м) и вычисленными средневзвешенными значениями NDVI для каждого орошаемого поля, находящегося в пределах деградированного пикселя.

Границы деградированных пикселей Landsat-7 (красные линии) и тематический растровый слой градаций NDVI, полученный на основе снимка Landsat-7 показан на Рис. 10.

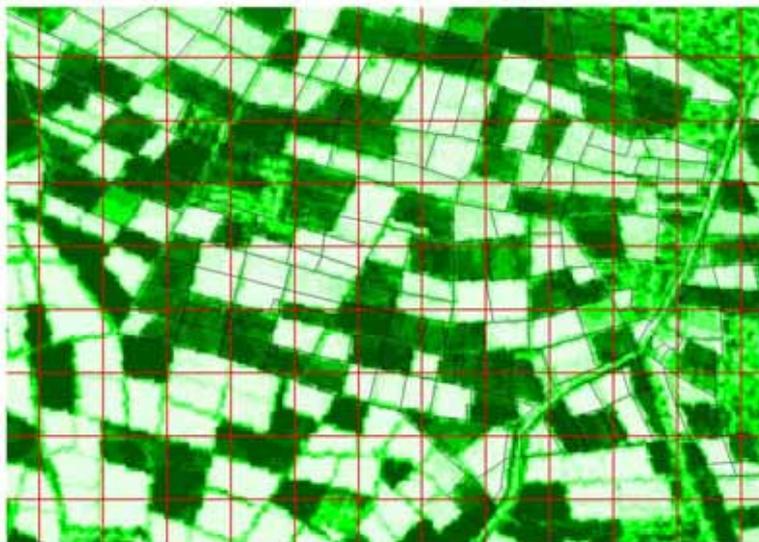


Рис. 10. Тематический слой градаций NDVI по снимку Landsat с границами пикселей, деградированных до 600 м.

Хорошая корреляционная связь между значениями деградированных пикселей (600 м) и вычисленными средневзвешенными значениями NDVI для орошаемых полей, в пределах каждого деградированного пикселя была получена на обе даты спутниковых снимков Landsat-7: 28/04/2001 (Рис. 11а) и 02/08/2001 (Рис. 11б). Соответствующие уравнения регрессии:

$$y = 0.7788 x + 0.0516 \quad \text{с } R^2 = 0.9413, \text{ и}$$

$$y = 0.8697 x + 0.0345 \quad \text{с } R^2 = 0.9454.$$

Подобный корреляционный анализ был выполнен между средне-взвешенными значениями NDVI по снимкам Landsat-7 (на 28/04/2001 и 02/08/2001), для частей орошаемых полей, находящимся в пределах каждого пикселя SPOT Vegetation и значениями NDVI по снимкам SPOT Vegetation на 12-ю и 22-ю декады 2001 г., соответственно. Наилучшая корреляция выявлена для орошаемых полей, классифицированные как “Пшеница+Кукуруза” на Август, 2001 (Рис. 12), с уравнением:

$$y = 0.8801 x + 0.0397 \quad \text{с } R^2 = 0.8568.$$

Кроме этого, при анализе отдельных пикселей с плохим состоянием растительности, было выявлено, что сенсор SPOT Vegetation более чувствителен к присутствию растительности, чем сенсор Landsat-7 ETM.

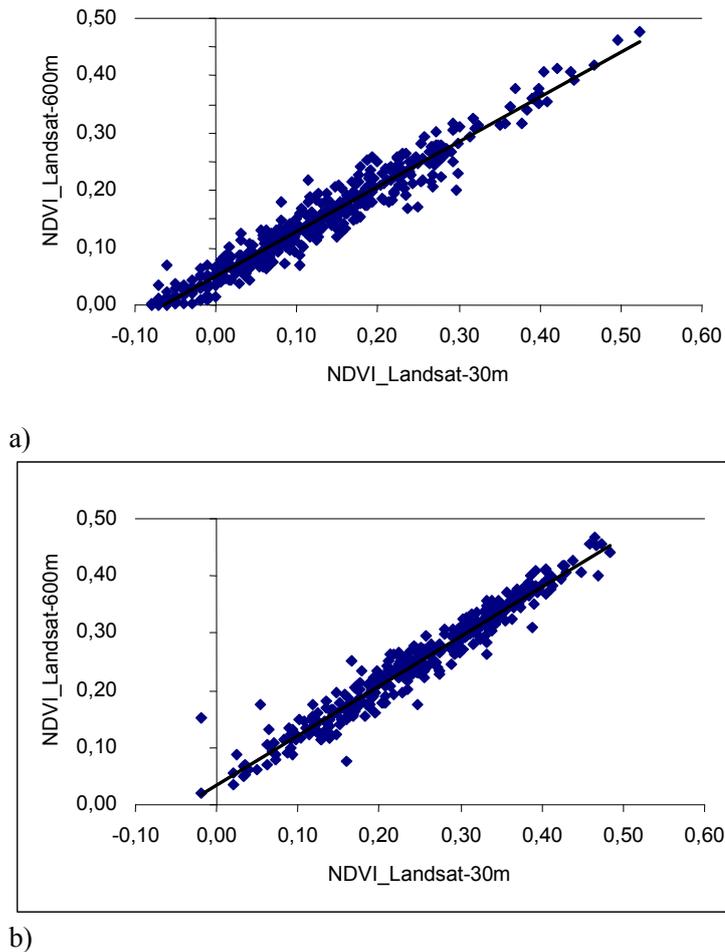


Рис. 11. Корреляция между значениями деградированных пикселей (600 м) и вычисленными средне-взвешенными значениями NDVI по снимкам Landsat (30 м) на а) 28/04/2001 и б) 02/08/2001.

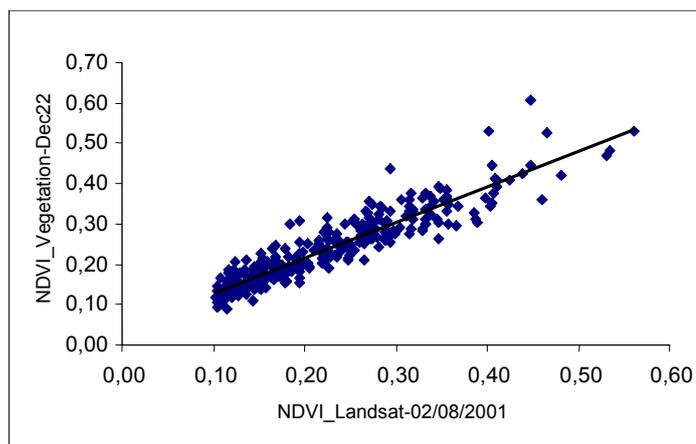


Рис. 12. Корреляция между значениями пикселей SPOT Vegetation (1000 м) на 22-ю декаду 2001 г. и вычисленными средне-взвешенными значениями NDVI по снимкам Landsat (30 м) на 02/08/2001.

На основе растровых слоев SPOT Vegetation NDVI был создан векторный слой ГИС, каждый полигон которого соответствовал пикселю NDVI и в созданные поля отличительных черт занесены

декадные значения NDVI для каждого полигона. Пространственным наложением этого слоя ГИС на слой ГИС орошаемых полей создан новый слой ГИС, в котором полигоны орошаемых полей были поделены на части при пересечении с полигонами границ пикселей SPOT Vegetation NDVI.

Для моделирования декадных значений NDVI по каждому орошаемому полю использовано допущение, что пропорция полей с растительностью и голой почвой в пределах каждого пикселя SPOT Vegetation NDVI по состоянию на 28/04/2001 является репрезентативной для декад с номерами от 7 до 16, и эта пропорция по состоянию на 02/08/2001 репрезентативна для декад с 17 по 30. Таким образом, на основе пропорции площадей частей орошаемых полей, находящихся в пределах каждого полигона пикселей SPOT Vegetation и их значений NDVI, вычисленных из обоих снимков Landsat-7 ETM, были рассчитаны декадные значения NDVI для каждой части орошаемых полей. После этого, средневзвешенные значения NDVI рассчитаны для каждого орошаемого поля, на основе значений NDVI его частей по всем декадам. Статистические результаты моделирования декадных значений NDVI для 206 орошаемых полей, классифицированных как «Пшеница» показаны на Рис. 13, то же для 670 полей «Хлопчатник» показаны на Рис. 14.

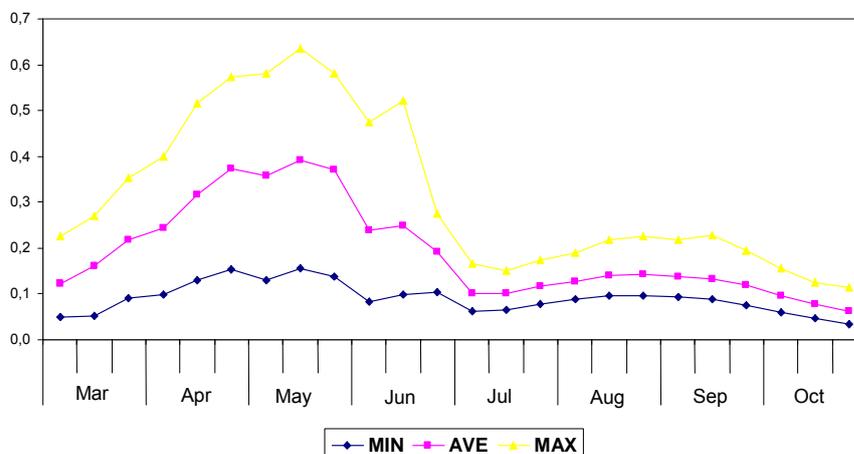


Рис. 13. Статистика моделированных декадных значений NDVI для полей «Пшеница».

Известно, что существует сильная корреляционная связь между значениями NDVI из снимков Landsat-7 ETM и значениями коэффициентов сельскохозяйственных культур (K_c). В публикации FAO-56 (Allen *et al.*, 1998) рекомендовано использование максимального значения K_c , равного 1.2, для озимой пшеницы и хлопчатника. На основе этого, в первом приближении, декадные значения коэффициентов основных культур были рассчитаны из моделированных значений NDVI с использованием простой формулы:

$$K_c = 2 * NDVI$$

[2]

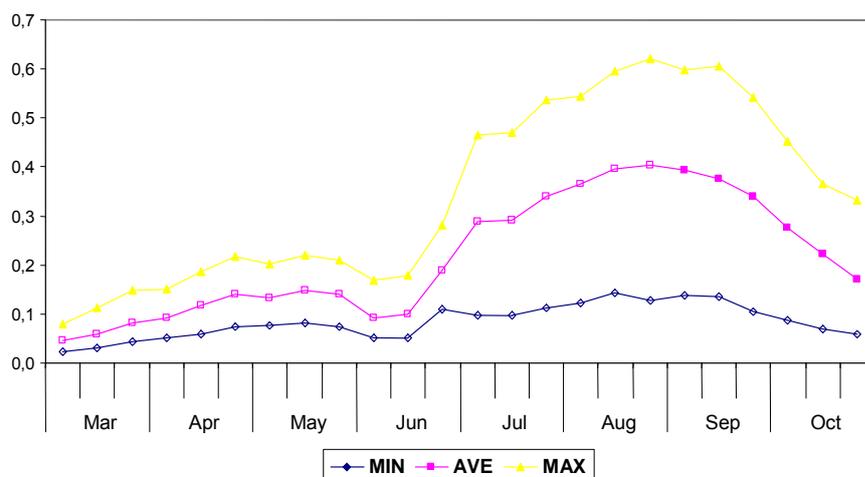


Рис. 14. Статистика моделированных декадных значений NDVI для полей «Хлопчатник».

Моделированные на основе данных Спутникового Зондирования Земли декадные коэффициенты (K_s) основных сельхозкультур могут использоваться для корректировки рекомендованных ФАО значений K_s , при уточнении применительно к местным условиям (Рис. 15). В дальнейшем результаты моделирования декадных значений K_s по спутниковым снимкам необходимо проверить для различных лет и других местоположений объектов.

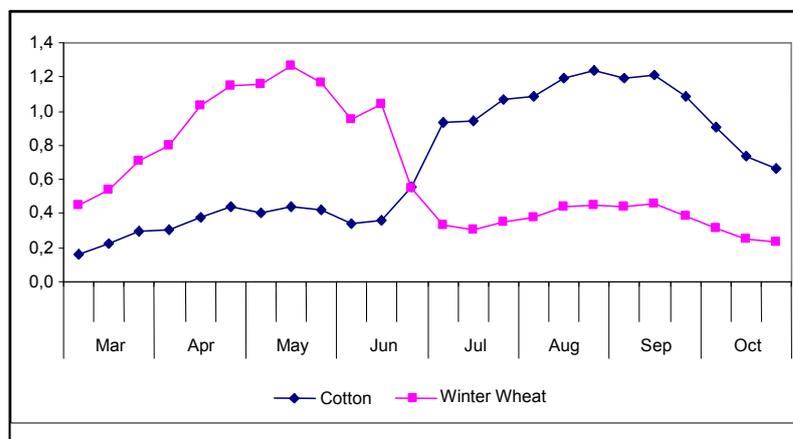


Рис. 15. Максимальные декадные значения K_s для основных сельхозкультур, моделированные с использованием спутниковых снимков.

Заключение

Метод классификации основных сельхозкультур на основе анализа значений NDVI, вычисленных с использованием мультиспектральных спутниковых снимков Landsat-7 ETM, показал довольно хорошие результаты.

Предварительные результаты распознавания засоления почв путем анализа индекса равномерности растительности по каждому орошаемому полю могут быть улучшены при использовании сезонных снимков Landsat за ряд лет. Гипер-спектральные, а также улучшенного пространственного

разрешения мульти-спектральные спутниковые снимки позволят значительно повысить точность распознавания засоления почв.

Совместное использование снимков низкого пространственного, но высокого временного разрешения (SPOT Vegetation NDVI), и снимков высокого пространственного, но низкого временного разрешения (Landsat-7 ETM), вместе со слоем ГИС полигонов орошаемых полей, дает возможность моделировать декадные значения коэффициентов основных сельхозкультур (Кс) на основе значений NDVI. Проверенные значения Кс могут использоваться для моделирования в среде ГИС фактической потребности сельскохозяйственных культур в воде, как для отдельных полей орошения, так и для любой исследуемой площади.

Библиография

- Allen, R.G., L.S. Pereira, D. Raes and M. Smith, 1998. *Crop evapotranspiration, guidelines for computing crop water requirements*. FAO Irrigation and Drainage, Paper 56, Rome, 300 pp.
- Bastiaanssen, W.G.M., 1998. *Remote Sensing in Water Resources Management: The state of the art*. Colombo, Sri Lanka: International Water Management Institute.
- Chemin, Y., Platonov, A., Abdullaev, I., Ul-Hassan, M., 2004. *Supplementing farm level water productivity assessment by Remote Sensing in transition economies*. Agricultural Water Management (in press).
- Eerens, H., Kempeneers, P., Piccard, I., Verheijen, Y., 2001. *Crop monitoring and yield forecasting with NOAA-AVHRR or SPOT-Vegetation*. Remote Sensing of Environment 75: 15 – 20.
- Gitelson, A., Kaufman, J., 1998. *MODIS NDVI optimization to fit the AVHRR data series—spectral consideration*. Remote Sensing of Environment 66: 343–350.
- McNairn, H., Deguise, J.C., Pacheco, A., Shang, J., Rabe, N., 2001. *Estimation of crop cover and chlorophyll from hyper-spectral Remote Sensing*. 23rd Canadian Remote Sensing Symposium, Sainte-Foy, Quйbec, Canada.
- Metternicht, G.I., Zinck J.A., 2003. *Remote sensing of soil salinity: potentials and constraints*. Remote Sensing of Environment 85: 1 – 20.
- Milne, B.T., Cohen, W.B., 1999. *Multi-scale assessment of binary and continuous landcover variables for MODIS validation, mapping, and modeling applications*. Remote Sensing of Environment 70: 82 – 98.
- Pacheco, A., Bannari, A., Deguise, J., McNairn, H., Staenz K., 2001. *Application of Hyperspectral Remote Sensing for LAI Estimation in Precision Farming*. 23rd Canadian Remote Sensing Symposium, Sainte-Foy, Quйbec, Canada.
- Staenz, K., Williams, D.J., 1997. *Retrieval of surface reflectance from hyperspectral data using a look-up table approach*, Canadian Journal of Remote Sensing, 23 (4): 354-368.
- Vincent, B., Vidal, A., Tabbet, D., Baqri, A., Kuper, M., 1996. *Use of satellite remote sensing for the assessment of waterlogging and salinization as an indication of the performance of drained systems*, 16th Congress ICID, Egypt, 15-22 September 1996, New Delhi, India.
- Zhan, X., Sohlberg, R.A., Townshend, J.R.G., DiMiceli, C., Carroll, M.L., Eastman, J.C., Hansen, M.C., DeFries, R.S., 2002. *Detection of land cover changes using MODIS 250 m data*. Remote Sensing of Environment: 83: 336 – 350.