

ДИСТАНЦИОННАЯ ОЦЕНКА ПАРАМЕТРОВ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ЗЕМЕЛЬ ПО СПУТНИКОВЫМ ДАНЫМ СПЕКТРОРАДИОМЕТРА MODIS

С.А. Баргалева¹, Е.А. Лупян¹, И.А. Нейштадт¹, И.Ю. Савин²

¹*Институт космических исследований (ИКИ) РАН,
117997 Москва, Профсоюзная 84/32
E-mail: bemi@smis.iki.rssi.ru*

²*Объединенный научный центр Европейской Комиссии,
I-21020 Ispra (VA), Italy
E-mail: igor.savin@jrc.it*

В настоящей статье описана методика использования данных дистанционных наблюдений прибором MODIS со спутника Тетра для классификации и оценки площадей сельскохозяйственных земель и посевов различных типов культур в южных регионах зернового пояса России. В качестве необходимого этапа обработки спутниковых данных разработанной методикой предусматривается построение композитных изображений с улучшенными для мониторинга растительности свойствами, а именно сниженным уровнем влияния облачности, аппаратных помех, а также вариаций в условиях освещения и наблюдения земной поверхности. Приводятся алгоритмы классификации сельскохозяйственных культур, основанные на использовании временных серий спутниковых данных, а также априорных знаниях о закономерностях динамики сезонного развития сельскохозяйственных растений различных типов. Даны результаты сравнения полученных дистанционными методами оценок с материалами официальной статистики, а также с данными выборочных полевых наблюдений в Ростовской области и Краснодарском крае.

Введение

Эффективное сельское хозяйство является одним из важнейших условий развития экономики и поддержания социальной стабильности в России. Согласно данным Росстата (www.gks.ru) в 2004 году посевная площадь составила 78.8 млн. га. Площади возделываемых и занимаемых различными культурами земель, а также состояние сельскохозяйственных посевов ежегодно меняются под влиянием экономических, политических, климатических и других факторов социального и природного характера. Управление агропромышленным комплексом на различных уровнях в современных условиях требует наличия объективной и регулярно обновляемой информации о характеристиках сельскохозяйственного производства. В тоже время, существующая в России традиционная система получения данных о состоянии сельскохозяйственных земель на уровне страны или крупных регионов, опирающаяся на данные комитетов государственной статистики, в настоящее время не может быть признана полностью отвечающей современным требованиям информационной поддержки органов управления агропромышленным комплексом.

Кроме того, в последнее время в связи с нарастающим вниманием к вопросам глобального изменения климата, достоверные данные о динамике площадей и режимах землепользования являются важной составляющей информационного обеспечения исследований по моделированию цикла углерода, а также потоков энергии и воды в экосистемах. Методы и интенсивность обработки почв, влияющие на потоки углерода в атмосферу, альbedo поверхности и испарение почвенной влаги, а также изменения характера землепользования, приводящие в ряде случаев к зарастанию заброшенных сельскохозяйственных земель лесами или распахиванию степных экосистем для наращивания объемов сельскохозяйственного производства, проявляются в характеристиках указанных выше циклов энергомассообмена.

Использование данных дистанционного зондирования со спутников является в настоящее время практически безальтернативной возможностью получения объективных и оперативных данных о состоянии растительного покрова на больших территориях. Это послужило стимулом для проведения многочисленных исследований и разработок методов, а также в ряде случаев и создания действующих систем мониторинга сельскохозяйственных земель, основанных на использовании спутниковых данных. К наиболее известным примерам действующих систем спутникового мониторинга сельскохозяйственных земель на глобальном уровне можно отнести системы, разработанные проектом MARS Объединенного исследовательского центра Европейской Комиссии (<http://agrifish.jrc.it>), а также Министерством сельского хозяйства США (<http://www.fas.usda.gov/pecad>). Создана и находит практическое применение система спутникового мониторинга сельского хозяйства в Казахстане [1,2].

В настоящее время в России по заказу и в рамках проектов Главного вычислительного центра Министерства сельского хозяйства РФ при участии Института космических исследований РАН и

Почвенного института им. В.В.Докучаева РАСХН разрабатывается национальная система спутникового мониторинга сельскохозяйственных земель [3], которая в основном ориентируется на оценку использования сельскохозяйственных земель.

Создание системы мониторинга сельскохозяйственных угодий требует разработки эффективных методов анализа спутниковых данных. При этом условием достижения требований оперативности мониторинга, объективности и повторяемости получаемых результатов является наличие алгоритмов, которые не предполагают участия экспертов в процессе анализа или минимизируют необходимость их участия. На разработку именно таких, в максимальной степени автоматизированных алгоритмов предварительной и тематической обработки данных спутниковых наблюдений, применительно к решению задач сельскохозяйственного мониторинга и направлены усилия авторов статьи. Настоящая статья отражает результаты исследований и разработок по созданию методов обработки данных прибора MODIS, апробированных в условиях Ростовской области и Краснодарского края, и предполагаемых к распространению, после необходимой доработки и адаптации, на все основные сельскохозяйственные регионы России.

Краткая характеристика тестовых регионов

Исследования и разработка методов использования спутниковых данных MODIS для оценки характеристик сельскохозяйственных земель на данном этапе осуществляются на территории Ростовской области и Краснодарского края, которые являются одними из важнейших агропромышленных регионов России. Согласно имеющимся оценкам сельскохозяйственного потенциала по агроклиматическим условиям [4] оба указанных региона входят в первую пятерку наиболее продуктивных в сельскохозяйственном отношении субъектов Российской Федерации и обеспечивают крупнейшие в стране валовые сборы подсолнечника и пшеницы. Совокупная площадь, занимаемая озимой пшеницей, подсолнечником, яровым ячменем и чистым паром, составляет около 70% всех пахотных земель регионов. Существенная посевная площадь также отводится под выращивание кормовых культур.

Характерные размеры полей составляют 0.5-2 кв.км. По причинам экономического характера в последние годы доля кормовых культур в общей посевной площади снижалась, а доля озимой пшеницы и подсолнечника росла [5,6]. В целях краткосрочного увеличения прибыльности сельхозпроизводители могут нарушать принятые правила севооборота и рационального использования земель.

Данные спутниковых наблюдений

Основными используемыми данными дистанционного зондирования являются данные спектрорадиометра MODIS установленного на борту спутника Terra. Полностью аналогичный прибор также установлен на борту спутника Aqua. Спутниковые данные MODIS характеризуют отражательные и излучательные свойства земной поверхности, измеряемые в 36 спектральных каналах видимого и инфракрасного диапазона длин волн с пространственным разрешением 250м, 500м и 1км [7]. Период обращения спутников и полоса обзора радиометра MODIS обеспечивают глобальное покрытие Земли данными наблюдений каждые 1-2 дня, что открывает возможности получения детальной во временном отношении информации о сезонном ходе развития растительного покрова, как одной из ключевых характеристик, необходимых для классификации сельскохозяйственных культур, оценки их состояния и определения потенциальной урожайности. Наибольший интерес для сельскохозяйственного мониторинга представляют измерения отраженного излучения в красном (620-670нм) и ближнем инфракрасном (841-876нм) спектральных каналах прибора MODIS. Данные, получаемые в этой комбинации спектральных каналов, наиболее информативны и традиционно используются для изучения растительности, а также имеют максимально возможное для данного прибора пространственное разрешение (250 м), что чрезвычайно важно принимая во внимание характерные размеры подлежащих наблюдению сельскохозяйственных полей. Кроме того, для решения задач выявления облачного покрова, что является необходимым условием предварительной обработки и улучшения используемых спутниковых изображений, непосредственный интерес представляют данные измерений в каналах голубого (459-479нм) и среднего инфракрасного диапазонов (1628-1652нм) длин волн, пространственное разрешение которых в соответствии с конструктивными характеристиками прибора MODIS составляет 500м.

Данные наблюдений MODIS находятся в свободном доступе и распространяются Геологической службой США (<http://lpdaac.usgs.gov/main.asp>) по сети Интернет с задержкой в 3-5 дней после проведения спутниковой съемки. Для проведения разработки, описываемых в настоящей работе методов, был сформирован банк данных Terra-MODIS на территорию Ростовской области и Краснодарского края, за период 2001-2004 гг. При этом для формирования банка данных спутниковых наблюдений были использованы такие стандартные

продукты данных Terra-MODIS как MOD09GHK, MOD09GQK, MODMGGAD и MOD09GST (<http://lpdaac.usgs.gov/modis/dataproducts.asp>). Эти продукты включают в себя данные наблюдений за сутки в различных спектральных каналах, а также дополнительную информацию об условиях наблюдения.

Методы обработки данных спутниковых наблюдений

Выполненные исследования, результаты которых представлены в данной работе, позволили разработать к настоящему времени ряд автоматических алгоритмов классификации по спутниковым данным MODIS следующих типов сельскохозяйственных земель и посевов:

- поля чистого пара;
- посевы озимых культур;
- посевы подсолнечника.

При этом все разработанные алгоритмы классификации сельскохозяйственных земель предполагают использование не исходных, а предварительно обработанных данных с целью редуцирования влияния ряда факторов снижающих эффективность использования спутниковых изображений. Среди такого рода факторов, такие как наличие на наблюдаемой территории снежного покрова, присутствие в поле зрения прибора облаков и их теней, зашумленность данных вследствие аппаратурных сбоев, а также снижение уровня пространственного разрешения по мере увеличения зенитного угла наблюдения. Алгоритмы предварительной обработки, разработанные для фильтрации непригодных для последующего тематического анализа пикселей и формирования наборов спутниковых изображений с улучшенными для мониторинга растительности свойствами, описаны в следующем разделе работы.

Предварительная обработка данных

Разработанная методика предварительной обработки спутниковых данных предполагает создание композитных изображений, содержащих наилучшие, согласно набору заданных критериев, измерения наблюдаемой территории за выбранные интервалы времени. Кроме того, наряду с улучшением свойств данных спутниковых наблюдений, процедура предварительной обработки позволяет значительно сократить объем данных для последующего тематического анализа.

Алгоритм предварительной обработки спутниковых данных включает в себя несколько последовательных шагов. На первом этапе из исходных продуктов спутниковых данных исключаются наблюдения с пространственным разрешением хуже заданного, а из нескольких измерений одной и той же точки сделанных с одного витка выбирается одно. Этот шаг позволяет уменьшить объем данных для последующей обработки приблизительно в три раза.

Следующим этапом обработки является детектирование пикселей изображений облаков и снежного покрова. Для этого используются данные измерений отраженного излучения в 3-ем (459-479 нм) и 6-ом (1628-1652 нм) спектральных каналах прибора MODIS. Обозначим через R_3 и R_6 отражательную способность поверхности в соответствующих каналах MODIS, нормированную на косинус угла наблюдения. Такая нормировка позволяет компенсировать влияние положения Солнца во время съемки на принятый прибором сигнал. В основе алгоритма детектирования снежного и облачного покровов лежит использование Нормализованного Разностного Индекса Снега $NDSI$ [8], определяемого, как

$$NDSI = \frac{R_3 - R_6}{R_3 + R_6}$$
 и априорных знаний об отражающих свойствах поверхности. Примем на данном этапе,

что каждый пиксел относится к одному из пяти классов: облачность, полупрозрачная облачность, тень от облака, снег, свободная от влияния облачности и снега подстилающая поверхность (чистая поверхность). Рассмотрим двумерное пространство признаков R_3 и $NDSI$, которое разобьем на четыре области следующим образом:

- «снег», если $R_3 \geq 0.1, NDSI \geq 0.4$;
- «облачность», если $R_3 \geq 0.1, -0.2 \leq NDSI < 0.4$;
- «полупрозрачная облачность», если $R_3 \geq 0.1, -0.2 > NDSI \geq -0.5$;
- «чистая поверхность», во всех остальных случаях.

Пиксел, имеющие общую сторону с пикселями классов «снег» и «облачность» также отнесем к соответствующему классу.

При известных значениях высоты облаков можно рассчитать местоположение соответствующих им теней, используя данные об углах наблюдения и углах Солнца. Поскольку точные данные о высоте облачного покрова отсутствуют, в качестве возможного диапазона высот облаков выбран интервал 0-8 км, а алгоритм включает в себя построение зоны заведомо содержащий все затененные пиксели. Введем

прямоугольную декартову систему координат с началом в данном соответствующем облаку пикселе с осью Ox направленной на север, и осью Oy , направленной на восток. Тогда радиус-вектор смещения тени на изображении относительно облака высотой H задается в этой системе следующими координатами:

$$\begin{aligned}x &= H (\cos(\psi) \operatorname{tg}(\theta) - \cos(\beta) \operatorname{tg}(\delta)) \\y &= H (\sin(\psi) \operatorname{tg}(\theta) - \sin(\beta) \operatorname{tg}(\delta))\end{aligned}$$

где ψ – азимутальный угол наблюдения, θ – зенитный угол наблюдения, β – азимутальный угол Солнца, δ – зенитный угол Солнца.

Изображения MODIS, как правило, содержат достаточно большое количество пикселей непригодных для тематической обработки в силу закрытия облачностью, снежным покровом или низкой разрешающей способности. В тоже время, многие задачи тематической обработки не требуют использования данных ежедневных спутниковых наблюдений, что допускает использование композитных изображений, полученных с использованием данных за несколько последовательных дней. В нашем случае синтез композитных изображений осуществляется по данным, полученным за каждые восемь последовательных дней при выполнении следующих двух условий:

- 1) пиксел соответствует классу «чистая поверхность»
- 2) при наличии нескольких значений отвечающих условию (1) выбирается наблюдение с наилучшим пространственным разрешением.

При этом в композитное изображение записывается значение отражения, нормированное на косинус угла наблюдения.

При рассмотрении временного ряда восьмидневных композитных изображений в функции значений яркости данного пиксела встречаются многократные аномальные выбросы. Указанные аномалии могут быть обусловлены различными причинами, среди которых различия условий наблюдения и несовершенство алгоритма детектирования облаков, снега и теней. Для сглаживания временного ряда яркости каждого пиксела был использован алгоритм фильтрации одиночных экстремальных значений.

На последнем этапе предварительной обработки на основе данных измерений отраженного излучения в красном и ближнем инфракрасном каналах прибора Terra-MODIS производится вычисление значений перпендикулярного вегетационного индекса PVI [9], обладающего свойствами независимости от отражательных свойств почвенного покрова при высокой чувствительности к изменениям объема зеленой биомассы растительности. В нашем случае для вычисления PVI использовалась следующая формула:

$$PVI = -0.83 * R1 + 0.56 * R2 - 0.005,$$

где $R1$ и $R2$ – значения спектрального отражения в красном и ближнеинфракрасном каналах соответственно, а значения коэффициентов определялись экспериментально по данным спектрального отражения открытой почвы различного уровня яркости.

Тематическая обработка спутниковых данных

В основе разработанных алгоритмов классификации типов сельскохозяйственных земель и посевов лежит использование временных серий данных вегетационного индекса PVI, получаемых по результатам спутниковых наблюдений прибором MODIS, и фактические знания особенностей сезонного развития различных сельскохозяйственных культур. Общим для всех разработанных к настоящему времени и описанных ниже алгоритмов тематической обработки спутниковых данных является необходимость предварительного картографирования и последующего исключения из анализа участков заведомо не относящихся к пахотным землям, а именно таких как водные объекты, солончаки, открытые пески, крупные населенные пункты, хвойные леса. Алгоритмы картографирования этих объектов [10], в настоящее время не являются полностью автоматическими и требуют на определенных этапах участия эксперта. Однако, будучи выполненным для заданного региона, этот этап тематической обработки спутниковых данных не требует регулярного повторения, а его результаты, как правило, могут быть использованы достаточно продолжительное, измеряемое несколькими годами, время в качестве вспомогательной информации при проведении оперативного мониторинга.

Картографирование сельскохозяйственных земель в состоянии чистого пара является важной задачей, позволяющей в ряде регионов осуществлять контроль соблюдения системы севооборота. Отличительной особенностью чистого пара, положенной в основу его классификации по спутниковым данным, является отсутствие развитого растительного покрова в течение вегетационного сезона, за исключением, возможно, всходов озимых культур поздней осенью [11]. Для описания разработанного алгоритма классификации полей чистого пара введем следующие обозначения:

pvi_i – значение вегетационного индекса PVI для заданного пикселя в i -м композите спутниковых данных от начала года;

I – множество номеров композитов i за период с 1 марта по 1 сентября текущего года,
 N – число таких композитов.

В качестве признака для выявления участков чистого пара нами предложено использовать значение индекса f вычисляемого по формуле $f = \frac{1}{N} \sum_{i \in I} pvi_i^2$. При этом к классу «чистый пар» относятся пиксели, соответствующие условию $f < P_{fallow}$, где P_{fallow} , является фиксированным предварительно выбранным экспертным путем значением.

Картографирование участков озимых посевов, которые в южных регионах России главным образом заняты пшеницей, выполняется с использованием алгоритма анализа спутниковых данных, в основе которого лежит поиск участков с характерным для озимых культур нарастанием биомассы в позднеосенний период вегетации. Таким образом детектируются только посевы, набравшие достаточную биомассу к окончанию осеннего периода вегетации. Следует отметить, что в случае неблагоприятных условий в период зимовки часть детектированных посевов может погибнуть.

Введем для заданного пиксела следующие обозначения:

pvi_{plouge}^i – минимальное значение pvi за период 1 сентября – 5 октября текущего года;

pvi_{growth}^i – медиана значений pvi за период 1 ноября – 31 декабря текущего года.

Выбранные и указанные выше временные интервалы являются характерными периодами сева и осеннего развития озимых культур в рассматриваемых регионах [12]. Согласно алгоритму классификации к классу «озимые культуры» отнесем пиксели, для которых выполняется следующая совокупность условий:

$$pvi_{plouge}^i < P_{winter_plouge} \text{ и } pvi_{growth}^i > P_{winter_growth},$$

где P_{winter_plouge} и P_{winter_growth} являются фиксированными, предварительно выбранными экспертным путем значениями. При этом для территории Ростовской области и Краснодарского края использовались различные значения параметра P_{winter_growth} . Необходимость использования двух различных пороговых значений возникла в силу значительного различия характерных значений вегетационного индекса в позднеосенний период для озимых культур для территорий Ростовской области и Краснодарского края. Следует отметить, что данный алгоритм не будет детектировать озимые посевы набравшие недостаточную биомассу к дате детектирования – 31 декабря. Также в ряде случаев возможно ложное детектирование озимых культур вызванное несоответствующей обработкой хозяйствами полей после яровых культур, в результате чего на полях к осени достаточную биомассу набирают сорные растения.

Картографирование полей занятых посевами подсолнечника, как культуры имеющей большое экономическое значение в регионах юга России, представляет собой важную задачу спутникового мониторинга сельскохозяйственных земель. Специфика развития подсолнечника, как и других сельскохозяйственных растений, в значительной мере зависит от складывающихся метеоусловий и, главным образом, сезонной динамики температуры воздуха. В частности, сумма накопленных среднесуточных температур воздуха может быть положена в основу определения ожидаемой даты цветения данной культуры. Период цветения соответствует максимуму накопления зеленой биомассы растения. Значение суммы накопленных температур, необходимой для достижения фазы цветения растения, зависит во многом от физиологии растения и может варьировать для разных сортов подсолнечника. В связи с отсутствием данных о пространственном распределении посевов разных сортов подсолнечника в исследуемом регионе на основе анализа литературных данных [12-17], а также данных полевых опытов, осуществленных в пределах региона исследований агрометеорологическими станциями и постами, была определена осредненная, единая для региона, величина суммы накопленных температур, необходимая для достижения подсолнечником фазы цветения. Считалось, что для достижения подсолнечником фазы цветения в исследуемом регионе необходимо накопление 1130°C среднесуточных температур после ее устойчивого перехода через $+6^{\circ}\text{C}$ весной. Обозначим эту, рассчитываемую индивидуально для каждого пиксел изображения в текущем году, дату через t_{flower} , а в качестве pvi_{plouge}^i и pvi_{growth}^i примем значения pvi за месяц до и через две недели после t_{flower} соответственно.

В силу различных метеоусловий развитие сельскохозяйственной растительности может существенно отличаться в разные годы, что требует применения соответствующих адаптивных алгоритмов классификации спутниковых данных. Это обстоятельство было учтено при разработке алгоритма картографирования посевов подсолнечника на основе использования осредненных на уровне административных районов функций временной динамики pvi , характеризующих интегральную интенсивность развития растительности в текущем году в данном регионе. Обозначим через $pvi_{max_reg}^i$ максимальное значение временной функции pvi для данного административного района, используемое для компенсации эффекта различия метеоусловий в различные годы. Согласно принятому алгоритму

классификации к классу «подсолнечник» отнесем пиксели, для которых выполняется следующая совокупность условий:

$$pvi_{plouge} < P_{sunflower_plouge} \text{ и } pvi_{growth} / pvi_{max_reg} > P_{sunflower_growth}$$

где $P_{sunflower_plouge}$ и $P_{sunflower_growth}$ задаваемые экспертным путем фиксированные пороговые значения.

Использование разработанных алгоритмов позволяет ежегодно картографировать по спутниковым данным Terra-MODIS участки чистых паров к 1 сентября текущего года, озимых культур – к 31 декабря года посадки, а подсолнечника – к 1 августа текущего года.

Анализ полученных результатов

Разработанные и описанные выше алгоритмы обработки спутниковых данных MODIS позволили получить карты посевов озимых культур и подсолнечника, а также чистого пара для Ростовской области и Краснодарского края за период 2001-2003 годов. Полученные данные были проанализированы в сравнении с материалами государственной статистики в разрезе административных районов по посевным площадям Ростовской области и Краснодарского края [5,6], а также детальной информацией на уровне отдельных полей для территории СПК Приморский и СХА им. Калинина Ростовской области, предоставленной администрацией указанных хозяйств для проведения экспериментальных работ. Следует отметить, что достоверность данных государственной статистики также может быть подвергнута сомнению, однако это единственные данные для сравнения доступные на данный момент. Вместе с тем такое сравнение и понимание возможных причин расхождения в данных получаемых различными методами является необходимым этапом, предшествующим широкому практическому использованию методов дистанционного зондирования.

Результаты сравнения с имеющимися данными государственной статистики в разрезе субъектов РФ приведены в таблицах 1 и 2.

Таблица 1. Результаты сравнения с данными государственной статистики по Ростовской области

Классы сельхозугодий	Результаты оценки по спутниковым данным (кв. км)				Данные государственной статистики (кв. км)			
	2001	2002	2003	2004	2001	2002	2003	2004
Чистый пар	3 060	6 698	5 235	–	12 290	12 514	12 986	–
Озимые культуры	–	9 059	10 202	7 685	12 419	14 385	9 630	–
Подсолнечник	6 040	6 705	13 405	–	7 935	8 092	10 862	–

Таблица 2. Результаты сравнения с данными государственной статистики по Краснодарскому краю

Классы сельхозугодий	Результаты оценки по спутниковым данным (кв. км)				Данные государственной статистики (кв. км)			
	2001	2002	2003	2004	2001	2002	2003	2004
чистый пар	55	89	132	–	–	–	–	–
озимые культуры	–	10 610	8 502	9 489	15 096	14 665	10 559	13 115
Подсолнечник	3 140	4 800	6 060	–	3 496	4 217	5 661	–

Следует отметить, что представленное сравнение данных в отношении площадей занимаемых чистым паром является не совсем корректным т.к. в государственной статистике [18] учитываются чистые и сидеральные пары, в то время как спутниковое детектирование позволяет выявлять только поля чистого пара. Сравнение данных по площадям чистого пара в Краснодарском крае не проводилось т.к. там эта агротехнология практически не применяется и сбор данных государственной статистики по площадям чистого пара не проводится.

Значительная разница в площадях между данными государственной статистики и результатами детектирования объясняется различными причинами. Как уже отмечалось выше, в силу особенностей используемых алгоритмов, часть озимых может не детектироваться в случае, когда они в осенний период не набрали достаточной биомассы. Решение этой проблемы рассматривается авторами в качестве одного из следующих этапов развития алгоритма дешифрирования озимых культур. Результаты детектирования подсолнечника, хотя и имеют значительное отличие от данных государственной статистики, в целом показывают верную динамику значительного увеличения посевных площадей. Кроме того, не следует исключать из рассмотрения вопрос о точности самих статистических данных.

Также было проведено сравнение с имеющимися данными государственной статистики в разрезе административных районов субъектов РФ. В качестве параметра характеризующего степень согласованности данных был использован коэффициент корреляции между посевными площадями в разрезе районов по данным государственной статистики и результатами детектирования. Результаты данного сравнения приведены в таблице 3.

Таблица 3. Значения коэффициентов корреляции между данными государственной статистики в разрезе административных районов и результатами, полученными дистанционными методами

Классы сельхозугодий	Ростовская область				Краснодарский край			
	2001	2002	2003	2004	2001	2002	2003	2004
чистый пар	0,83	0,87	0,84	–	–	–	–	–
озимые культуры	–	0,85	0,81	–	–	0,90	0,86	0,90
Подсолнечник	0,76	0,80	0,84	–	0,83	0,88	0,74	–

Высокие коэффициенты корреляции, представленные в таблице, свидетельствуют о хорошей согласованности между статистическими и дистанционными данными. Однако реальные подсчеты площадей при этом могут иметь достаточно большую разницу. Данная ситуация позволяет сделать предположение о необходимости использования в будущем более гибкого подхода к определению фиксированных пороговых значений в разработанных алгоритмах, при котором эти значения в большей степени учитывали бы ежегодное варьирование метеорологической обстановки и специфику пространственного варьирования географических условий в пределах отдельного региона исследований.

Отметим также, что пространственное разрешение используемых спутниковых данных – 250м – вносит свою сложноустраняемую погрешность в оценку площадей посевов. Погрешность, отнесенная к общей площади, особенно велика при оценке площадей на небольших территориях (хозяйство, район) и уменьшается при оценке площадей на уровне субъектов России. Указанная ошибка может быть минимизирована при использовании дополнительных данных о площадях отдельных полей. В этом случае возможен совместный анализ данных при котором посевы детектируются с использованием спутниковых изображений, а площади подсчитываются с учетом заранее известных площадей полей.

Результаты сравнения с данными отдельных хозяйств представлены на рис.1. В целом они показывают достаточно хорошее качество детектирования. Значительное расхождение наблюдается лишь при сравнении озимых культур, что, по-видимому, объясняется особенностями алгоритма, описанного выше.

Заключение

Создание и развитие прикладных систем мониторинга окружающей среды привело к расширению области практического применения спутниковых данных и результатов их обработки. В представленной статье описаны методы предварительной и тематической обработки данных спутникового прибора MODIS для целей мониторинга сельского хозяйства. Распространение этих методов на территорию основных сельскохозяйственных регионов России является одним из важных шагов создания национальной системы мониторинга сельского хозяйства.

Описанные выше результаты показывает перспективность развития систем обработки данных дистанционного зондирования Земли в применении к задачам мониторинга сельского хозяйства. В дальнейшем планируется разработка алгоритмов для детектирования посевов других культур, а также повышение точности существующих методов. Предоставление доступа к результатам обработки посредством сети Интернет позволит значительно улучшить оперативность информирования заинтересованных пользователей.

Поскольку полученные в работе оценки состояния сельскохозяйственных земель южных регионов России могут быть интересны для научных исследований, в настоящее время к ним организован доступ на сервере информационной системы спутникового мониторинга наземных экосистем Северной Евразии (<http://terranorte.iki.rssi.ru/>), создаваемой при поддержке РФФИ (проект 04-07-90263-в).

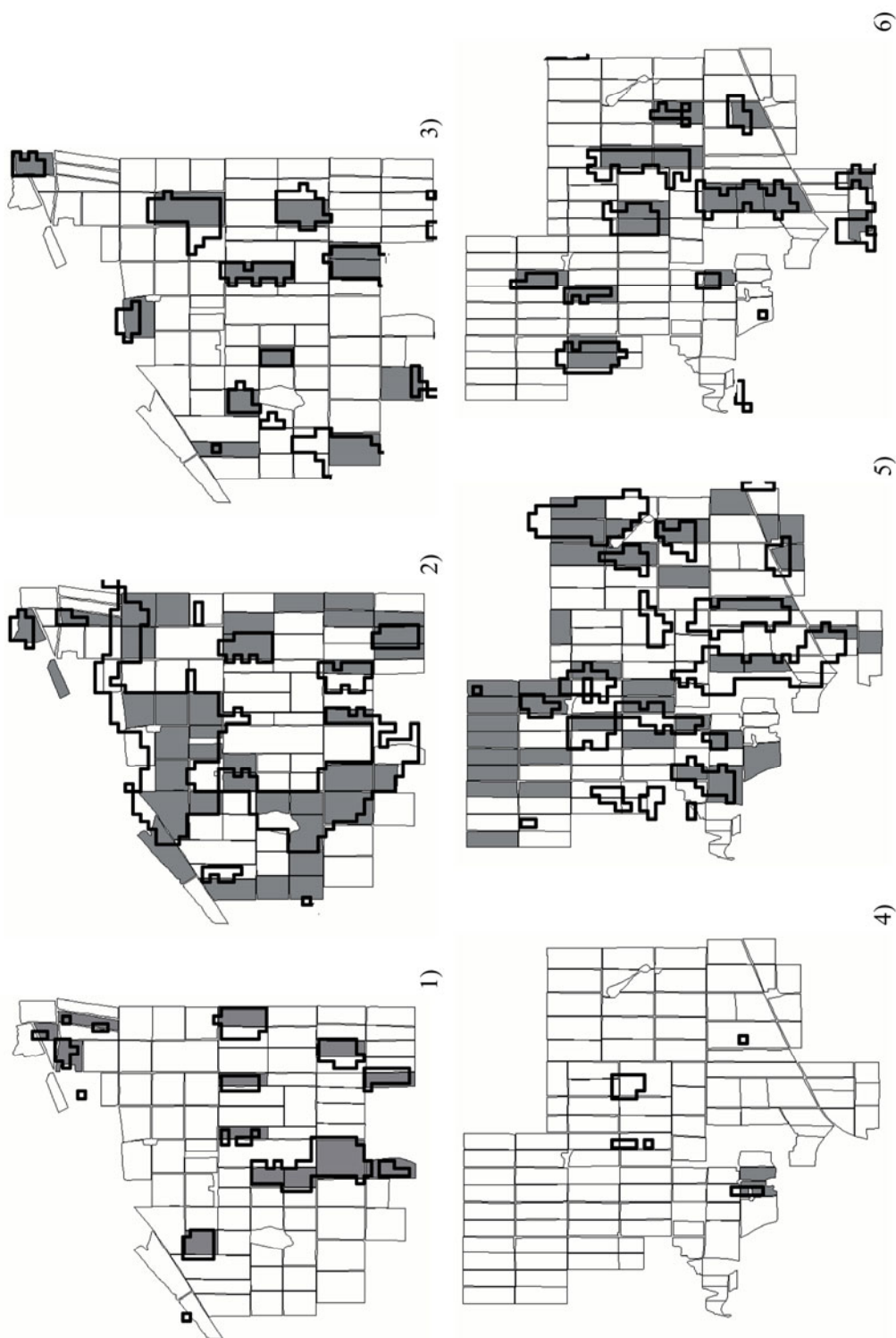


Рис 1. СПК Приморский, сравнение результатов детектирования чистого пара (1), озимых культур (2), подсолнечника (3) с данными агрономов. Закрашенные поля – данные агронома, черные линии – результаты детектирования. СХА им. Калинина, сравнение результатов детектирования чистого пара (4), озимых культур (5), подсолнечника (6) с данными агрономов. Закрашенные поля – результаты детектирования, 2003 год.

Литература

1. *Спивак Л.Ф., Архипкин О.П., Нургалиев С.Г., Шагарова Л.В.* Дистанционная оценка площадей зерновых в Казахстане по данным гиперспектрального радиометра MODIS // Исследование Земли из Космоса, 2003, №2. С.80-84.
2. *Султангазин У.М., Муратора Н.Р., Терехов А.Г.* Использование космического мониторинга в планировании и прогнозировании параметров зернового производства // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса, Сборник научных статей, Москва, 2003. С.291-297.
3. *Барталев С.А. и др.* Система автоматизированного сбора, обработки и распространения спутниковых данных для мониторинга сельскохозяйственных земель // настоящий сборник научных статей.
4. *Зондзе Е.К., Овчаренко Л.И.* Сравнительная оценка сельскохозяйственного потенциала климата на территории РФ и степени использования ее агроклиматических ресурсов сельскохозяйственными культурами // Гидрометеоздат, Санкт-Петербург, 2000.
5. Посевные площади, валовые сборы и урожайность сельхозкультур в хозяйствах всех категорий Ростовской области // Ростов-на-Дону, Ростовский областной комитет государственной статистики, 2001, 2002, 2003.
6. Площади, валовые сборы и урожайность сельскохозяйственных культур и многолетних насаждений // Краснодар, Краснодарский краевой комитет государственной статистики, 2002, 2003, 2004.
7. Earth Observation System (EOS) Data Products Handbook // NASA Goddard Space Flight Center, Greenbelt Maryland, Vol. I, 2003, 258 p.
8. *Hall D.K., Riggs G.A., Salomonson V.V.* Development of methods for mapping global snow cover using moderate resolution imaging spectroradiometer data // Remote Sensing of Environment, 1995, №54, P.127-140.
9. *Wiegand C.L., Richardson A.J., Escobar D.E., Gerbermann A.H.* // Vegetation Indices in Crop Assessments // Remote Sensing of Environment, 1991, №35, P.105-119.
10. *Нейштадт И.А., Барталев С.А., Ершов Д.М., Лупян Е.А., Савин И.Ю.*, Алгоритмы анализа данных спутниковых наблюдений TERRA-MODIS для мониторинга сельскохозяйственных земель // Геоинформатика. Международная научно-техническая конференция, посвященная 225-летию МИИГАиК, Москва, 2004, С.205-209.
11. Толковый словарь по сельскохозяйственной метеорологии // Гидрометеоздат, Санкт-Петербург, 2002, 470 с.
12. Агроклиматический справочник по Ростовской области // Гидрометеорологическое издательство, Ленинград, 1961.
13. Агроклиматические ресурсы Краснодарского края // Гидромет., Ленинград, 1975, 58 с.
14. Справочник агронома по сельскохозяйственной метеорологии // Гидромет., Ленинград, 1986, 340 с.
15. *Boons-Prins E.R., de Koning G.H.J., van Diepen C.A., Penning de Vries F.W.T.*, Crop specific simulation parameters for yield forecasting the across the European Community // SC-DLO, The Netherlands, 1993, 130p.
16. *Diepen C.A. and van der Wal T.* Crop growth monitoring and yield forecasting at regional and national scale. // Dallemand and Vossen (Eds), Publication EUR 16008 EN of the Office for Official Publications of the E.C., 1995, P. 143-158.
17. *Keulen, H. van, J. Wolf (eds.)*. Modeling of agricultural production: weather, soils and crops. // Simulation Monographs, Pudoc, Wageningen, 1986, 523 p..
18. Инструкция по заполнению формы федерального государственного статистического наблюдения № 29-сх «Сведения о сборе урожая сельскохозяйственных культур» // утверждена постановлением Госкомстата России от 26 сентября 2002 № 184.
19. *Justice C.O. et al.* An overview of MODIS Land data processing and product status // Remote Sensing of Environment, 2002, №83, P.3-15.