

# **Признаки распознавания пахотных земель на основе многолетних рядов данных спутникового спектрорадиометра MODIS**

**Д.Е. Плотников, С.А. Барталев, Е.А. Лупян**

*Институт космических исследований Российской академии наук  
117997 Москва, Профсоюзная 84/32  
E-mail: smis@smis.iki.rssi.ru*

В статье предлагаются новые признаки распознавания вовлеченной в сельскохозяйственный оборот пашни на основе многолетних временных рядов измерений спектральной яркости земной поверхности радиометром MODIS со спутника Тегга. Признаки распознавания учитывают характерные для пахотных земель особенности сезонной и межгодовой динамики перпендикулярного вегетационного индекса PVI, который оценивается в двумерном пространстве значений яркости в красном и ближнем ИК спектральных диапазонах и тесно коррелирует с объемом зеленой фитомассы. В работе выполнена оценка информативности предложенных признаков распознавания при решении задачи выявления используемых пахотных земель. Полученные результаты необходимы для развития системы дистанционного мониторинга земель агропромышленного комплекса и позволяют усовершенствовать методы и технологии оценки динамики пахотных земель, прогнозирования урожая и решения ряда других сопряженных задач.

**Ключевые слова:** дистанционное зондирование, спектрально-отражательные характеристики, временные серии данных, пахотные земли

## **Введение**

Одним из условий эффективного развития агропромышленного производства в России на современном этапе является наличие источников объективной и регулярно обновляемой информации о состоянии и динамике пахотных земель. Возрастающая потребность в такой информации обусловлена значительными изменениями посевных площадей, связанными с процессами забрасывания пашни и ее застарения древесно-кустарниковой растительностью, имеющими место в ряде регионов, а также с увеличивающимися в последние годы объемами ввода в сельскохозяйственный оборот залежных земель. Информация о пахотных землях и их динамике необходима для планирования агропромышленного производства и прогнозирования урожая сельскохозяйственных культур, в том числе на основе методов дистанционного зондирования Земли со спутников.

Высокий потенциал современных систем дистанционного зондирования по решению задач мониторинга пашни на национальном и региональном уровнях обеспечивается благодаря совокупности таких параметров, как наличие оптимальных для изучения растительности спектральных каналов, удобное сочетание между пространственным разрешением и шириной полосы обзора и возможность ежедневных наблюдений [1-4]. Важнейшим обстоятельством также является наличие накопленных к настоящему времени многолетних рядов спутниковых данных, что открывает возможности разработки принципиально новых подходов к решению задачи распознавания и картографирования используемых пахотных земель.

В этой связи задача разработки автоматизированных технологий картографирования используемых пахотных земель и оценки их динамики на основе многолетних данных спутниковых наблюдений является чрезвычайно актуальной. Следует отметить, что помимо предоставления собственно информации о пространственном распределении и площадях используемых пахотных земель, решение данной задачи позволяет повысить эффективность картографирования посевов сельскохозяйственных культур, оценки их состояния и прогнозирования урожая, а также решения других задач спутникового мониторинга сельскохозяйственных земель.

Признаки распознавания, необходимые для картографирования используемых пахотных земель по спутниковым данным в масштабе станы, демонстрируют, как правило, значительную географическую изменчивость, отражающую зависимость биофизических характеристик культурной и естественной растительности от локальных почвенно-климатических факторов. В этой связи, методы классификации спутниковых данных должны обладать свойствами пространственной адаптивности, а используемые признаки распознавания обеспечивать высокий уровень локальной разделимость классов. Представленные в настоящей работе новые признаки распознавания формируются на основе многолетних рядов спутниковых данных и позволяют отделять участки естественной растительности от пашни для картографирования используемых пахотных земель на национальном и региональном уровнях. Вопросы развития метода и автоматизированной технологии картографирования используемых пахотных земель на основе данных спутниковых наблюдений и предложенных в настоящей работе признаков распознавания предполагается рассмотреть в последующих статьях авторов. При этом, не углубляясь здесь в суть алгоритма картографирования пахотных земель, отметим необходимость последовательного или одновременного использования на различных его этапах всей совокупности разработанных признаков распознавания. В частности, часть предложенных признаков, образующая вспомогательную группу, может найти эффективное применение на этапе предварительной подготовки опорной выборки для последующей обучаемой классификации, которая, в свою очередь, предполагает использование признаков основной группы. Такой подход позволяет не только максимально эффективно использовать признаки распознавания с учетом их преимуществ и ограничений, но и дает возможность повысить уровень независимости и репрезентативности формируемой опорной выборки. Кроме того, последовательная управляемая классификация данных спутниковых наблюдений с использованием выбранных для этой задачи информативных признаков и последующим объединением получаемых результатов на основе логических правил позволяет минимизировать ошибки распознавания за счет их взаимной компенсации.

## **Используемые данные спутниковых наблюдений**

В настоящей работе распознавание пахотных земель основано на использовании данных радиометра MODIS со спутника Terra, а именно, продуктов данных MOD09GQK, MOD09GHK, MODMGGAD, MOD09GST, распространяемых Геологической службой США [5]. Указанные продукты данные содержат измерения коэффициента спектральной яркости (КСЯ) в красном ( $R_1$ , 620-670 нм) и ближнем ИК ( $R_2$ , 841-876 нм) каналах с пространственным разрешением 250 м, непосредственно используемые для построения признаков распознавания. На этапе предварительной обработки спутниковых данных для фильтрации зашумленных под влиянием облачности и снежного покрова наблюдений используются измерения КСЯ в голубом (459-479 нм) и среднем ИК (1628-1652 нм) каналах с пространственным разрешением 500 м.

Сформированный в Институте космических исследований Российской академии наук (ИКИ РАН) архив содержит ежедневные данные MODIS для всей территории России за период с 2000 года по настоящее время и пополняется актуальными спутниковыми данными в оперативном режиме [6]. Разработанная методика предварительной обработки данных MODIS [7] позволяет строить набор производных продуктов, необходимых для их дальнейшего тематического анализа. Методика включает в себя детектирование пикселов, непригодных для использования в силу значительного отклонения угла визирования от надира, построение масок облачного и снежного покровов, а также теней от облаков, с последующим формированием для фиксированных интервалов времени композитных изображений, очищенных от влияния мешающих факторов. Для построения признаков распознавания использовались временные ряды композитных изображений, формируемых на основе данных спутниковых наблюдений в течение недели (так называемые недельные композиты).

Одним из условий эффективного использования спектральных вегетационных индексов для мониторинга сельскохозяйственной растительности является максимально возможная независимость этих индексов от яркостных характеристик почвенного покрова. Особенно большое значение это имеет на начальных этапах развития посевов, когда вклад яркости почвы в интегральную яркость наблюданной поверхности является преобладающим. Перпендикулярный вегетационный индекс PVI [8] в значительной мере независим от яркости почвенного покрова и одновременно тесно коррелирует с объемом зеленой биомассы и концентрацией хлорофилла в листьях и растительных побегах.

Значение PVI рассчитывается в двумерном пространстве значений КСЯ красного и ближнего ИК диапазонов как евклидово расстояние от данной точки до линии почв. Уравнение  $R_2 = 1.1R_1 + 0.05$  для линии почв в этом пространстве получается путем линей-

ной аппроксимации экспериментальных данных о значениях КСЯ заведомо открытой почвы в различных регионах России при коэффициенте детерминации  $R^2 = 0.9$  [9]. Таким образом, PVI вычисляется по формуле  $PVI(R_1, R_2) = -0,74R_1 + 0,67R_2 - 0,034$ .

### Признаки распознавания пахотных земель

Для автоматического выявления по данным спутниковых наблюдений используемых пахотных земель и их отделения от естественной растительности, заброшенных сельскохозяйственных угодий и других типов объектов земной поверхности необходима разработка соответствующих признаков распознавания. При этом признаки распознавания должны удовлетворять ряду условий, в частности таких как:

- наличие формальных описаний, обеспечивающих возможность унифицированного автоматического вычисления признаков;
- высокий уровень разделимости и, соответственно, вероятности правильного распознавания множества классов на основе совокупного использования признаков;
- низкий уровень случайного шума в значениях признаков;
- устойчивость к пропускам в рядах спутниковых данных, вызванных фильтрацией зашумленных измерений (облака, тени от облаков, снежный покров, аппаратные сбои);
- применимость в широком диапазоне физико-географических, агроклиматических, агротехнических и других условий сельскохозяйственного растениеводства.

В данной работе описаны признаки, построенные на основе многолетних рядов PVI, учитывающие характерные отличия между естественной и сельскохозяйственной растительностью ввиду наличия севооборота. Приведенные в качестве примера на рисунке 1 временные ряды PVI получены для двух участков пашни и естественной растительности, находящихся в близких почвенно-климатических условиях.

В таблице 1 приводятся разработанные признаки распознавания участков пашни и дается характеристика особенностей их использования. При этом, признаки основной группы (первые три в таблице 1) обеспечивает хорошую локальную разделимость практически в любом регионе России, и, следовательно, применимы на всей территории страны. Признаки распознавания вспомогательной группы (последние три в таблице 1) обладают хорошим уровнем разделимости лишь в отдельных регионах для земель с определенными типами севооборота. Это ограничивает область их применения при спутниковом картографировании пахотных земель и позволяет эффективно их использовать при решении вспомогательных задач, таких как формирование обучающей выборки для классификации или фильтрация ошибочно распознанных участков на этапе постклассификационной обработки результатов.

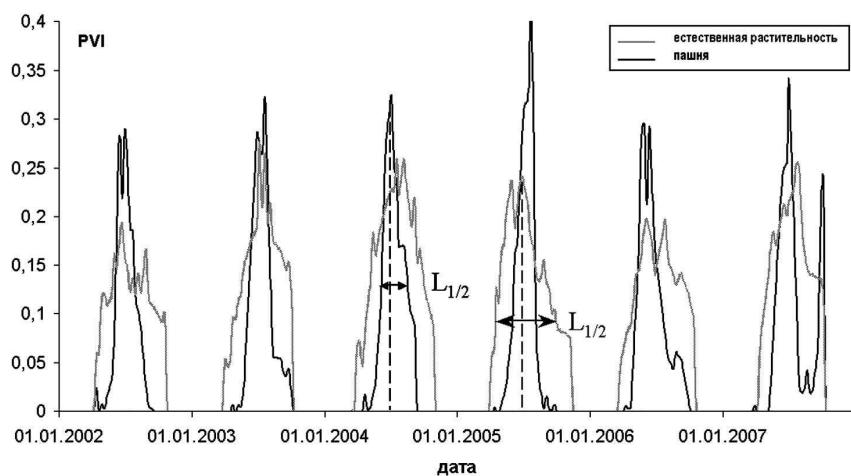


Рис. 1. Примеры многолетних временных рядов PVI с характерными для пашни и естественной растительности межгодовыми и сезонными различиями. Обозначение  $L_{1/2}$  соответствует продолжительности вегетационного сезона для данного типа растительности в текущем году

Таблица 1. Признаки распознавания используемых пахотных земель на основе многолетних рядов данных MODIS

Название	Формула	Описание	Особенности				
			D	K	R	C	V
Индекс кратчайшего сезона вегетации	$L_{1/2} = \min_{j=1..N} (t_L^j - t_F^j)$ , $PVI(t_L) = PVI(t_F) = \frac{PVI_{max}}{2}$ , $t_L > t_{max}, t_F < t_{max}$	Минимальный для ряда лет отрезок времени, когда в течение года значения PVI превышали половину его сезонного максимума	+	-	-	+	-
Индекс весеннего развития растительности	$MSI = \min_{j=1..N} \sum_{i \in spw} PVI_{ij}$	Многолетний минимум интеграла PVI в период 1 января - 15 июня каждого года наблюдений	-	+	+	+	-
Индекс сезонного снижения фитомассы	$NSMI = const - \frac{\sum_{j=1}^N PVI_j^{\min_{sw}}}{\sum_{j=1}^N \sum_{i \in sw} PVI_i}$	Нормированная сумма многолетних сезонных минимумов PVI в период 15 мая - 15 сентября каждого года наблюдений	+	+	+	-	+
Индекс межгодовых различий динамики растительности	$K = \min_{i,j \in 1..N} (\text{Cor}(PVI(Year_i), PVI(Year_j)))$	Минимум всех возможных значений межгодовых корреляций временных рядов PVI	+	+	+	-	-
Индекс межгодовой изменчивости фитомассы	$D = SD \left( \sum_{i=1..N} PVI_j \right) / Year_i$	Стандартное отклонение сумм накопленных за различные годы значений PVI	-	+	+	-	-
Разностный индекс сезонного пика вегетации	$T = Med(PVI_{max}^{Year_j} - PVI_{mean}^{Year_j})$	Многолетняя медиана разности максимального и среднего значения PVI	+	+	+	+	-

**Примечания:**

- 1) В таблице представлены следующие обозначения особенностей признаков:  
D - устойчивость к пропускам в данных наблюдений: (+) – устойчив и (-) – неустойчив  
K – квантованность значений признака: (+) – слабая и (-) – сильная  
R - динамический диапазон: (+) – широкий и (-) – узкий  
C – зашумленность: (+) – низкая и (-) – высокая  
V - вероятность перепутывания с участками изменений естественной растительности: (+) – низкая и (-) – высокая
- 2) В формулах приняты следующие обозначения математических операций: Cor – корреляция; SD – стандартное отклонение; Med – медиана

Таблица 2 дает дополнительное представление об особенностях признаков распознавания основной группы, описывая параметры разделимости участков используемой пашни и других типов земель на основе этих признаков.

Таблица 2. Оценка разделимости пашни и других типов земель на основе признаков распознавания по многолетним данным MODIS

Название признака	Фрагмент изображения	Показатели разделимости классов	
		Гистограмма	Трансформированная дивергенция (0÷2000)
Индекс кратчайшего сезона вегетации			1681
Индекс весеннего развития растительности			1520
Индекс сезонного снижения фитомассы			1560

Примечание: на двух первых (сверху) фрагментах изображения пахотные земли имеют темный оттенок, естественная растительность – светлый; на нижнем фрагменте – наоборот. В столбце «гистограмма» всегда тёмный цвет соответствует классу «пашня», светлый – классу «естественная растительность»

В основу индекса кратчайшего сезона вегетации  $L_{1/2}$  в качестве признака распознавания пахотных земель положено наличие, в силу проведения агротехнических мероприятий (обработка почвы перед севом и уборка урожая), тенденций к сокращению продолжительности вегетационного периода сельскохозяйственных культур по сравнению с естественной растительностью различных типов. Значения  $L_{1/2}$  рассчитывается как минимальный для ряда лет период, в котором значения PVI превышают порог, определяемый половиной максимального значения вегетационного индекса в текущем году (см. в качестве примера рисунок 1).

Признак  $L_{1/2}$  информативен для выявления пахотных земель в широком диапазоне типов севооборота, однако, в связи с использованием временных рядов недельных композитных

изображений для его значений характерно относительно небольшое число уровней квантования (не более 53) и довольно узкий динамический диапазон. Эти ограничения могут быть существенно ослаблены при использовании ежедневных данных спутниковых наблюдений.

Предпосылками для разработки и использования индекса весеннего развития растительности *MSI* являются характерные для естественной и сельскохозяйственной растительности различия времени начала роста. В отличие от естественной растительности, время появления всходов на пахотных землях непосредственно связано со сроками сева, определяемыми в свою очередь состоянием почвы и ее готовностью к проведению посевных работ. Исключение составляют весенние всходы многолетних и озимых культур, которые уже имеют развитые с осени предыдущего года вегетативные органы. Таким образом, значения индекса *MSI*, определяемого, как минимальная многолетняя сумма значений PVI в границах временного окна, охватывающего весенний период года, имеют существенно большие значения на участках естественной растительности, чем на пахотных землях, кроме некоторых исключений. Минимизация многолетних накопленных значений PVI при этом направлена на компенсацию эффекта «маскирования» пахотных земель посевами многолетних трав. В качестве недостатка использования признака *MSI* следует отметить возможное ошибочное отнесение на его основе к классу «пашня» объектов с постоянно низкими величинами PVI (например, населенных пунктов). Кроме того, для значений признака характерен достаточно высокий уровень шума, сопряженный с пропусками данных спутниковых наблюдений, поскольку мешающее влияние снега и облачности в весенний период проявляется сильнее, чем в другие периоды вегетационного сезона.

Временной интервал спутниковых наблюдений, используемых для вычисления индекса сезонного снижения фитомассы *NSMI*, соответствует периоду вегетации культурной растительности, но также включает в себя моменты ожидаемого минимального присутствия растительности на пашне и, следовательно, низких значений PVI. Это моменты осенней обработки почвы, скашивания многолетних трав или предпосевных работ. При этом предполагается, что в период вегетации естественная растительность накапливает существенный объём фитомассы. Следует отметить устойчивость признака к ошибкам распознавания, связанным с перепутыванием пахотных земель и участков естественной растительности, претерпевшей воздействие краткосрочных деструктивных факторов (например, степные пожары, засуха и др.). В тоже время для индекса *NSMI* характерны относительно менее контрастные различия между участками пашни и естественной растительности.

В качестве индекса межгодовых различий динамики растительности *K* принимается значение минимального коэффициента линейной корреляции между временными рядами значений PVI для всех возможных сочетаний пар лет заданного периода наблюдений. В основу разра-

ботки индекса  $K$  положено предположение о снижении его значений на пахотных землях (по сравнению с участками естественной растительности) за счет наличия севооборота и связанных с ним больших межгодовых различий сезонной динамики PVI. Экспериментально было установлено, что достаточно значимый для надежного распознавания уровень различий в значениях признака достигается лишь на пахотных землях с наличием в севообороте озимых культур, отличающихся существенно отливающейся от яровых посевов сезонной динамикой PVI. Как следствие этого факта признак обеспечивает достаточно высокий уровень локальной разделимости заданных классов преимущественно в южных регионах европейской части России.

*Индекс межгодовой изменчивости фитомассы  $D$ , характеризуемый стандартным отклонением многолетних значений накопленной за год суммы PVI, обеспечивает наиболее высокий уровень детектируемости пахотных земель при наличии в севообороте чистых паров. Вместе с тем, признак отличается значительными уровнями пространственной вариабельности и случайного шума. Кроме того, при использовании данного признака необходимо учитывать близость его значений для участков пахотных земель и некоторых других типов объектов, таких как вырубки, гари и карьеры с тем, чтобы минимизировать влияние этого фактора на точность распознавания.*

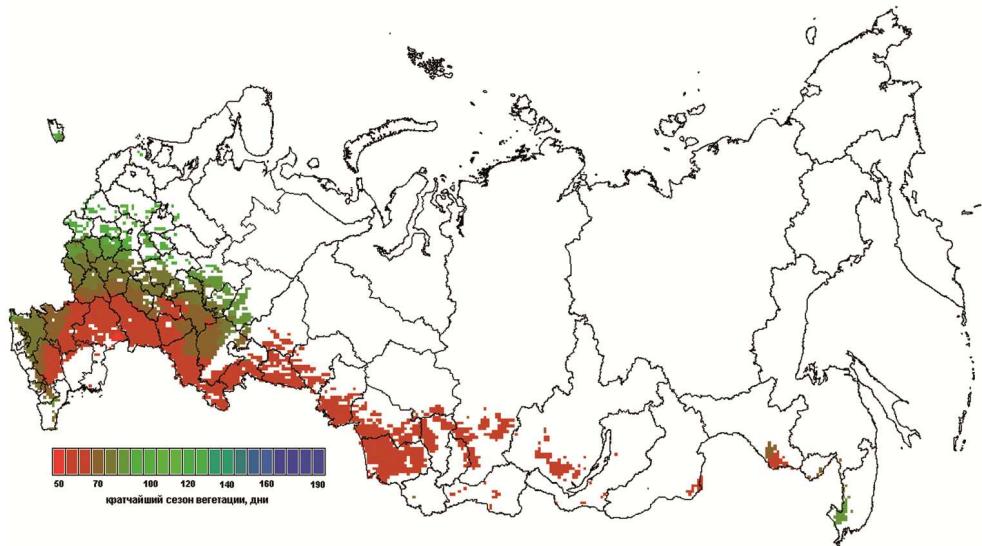
*Использование разностного индекса сезонного пика вегетации  $T$  позволяет детектировать объекты, внутригодовой ход PVI которых демонстрирует значительные отклонения максимальных значений летнего периода от среднегодовых значений. Очевидно, что в силу использования агротехники и ускоренного развития растительности на пахотных землях, для них характерны более существенные различия между максимальными и среднегодовыми значениями вегетационного индекса. Вычисление медианы указанных выше многолетних разностей PVI позволяет исключить экстремальные значения, сопряженные с более высоким уровнем случайного шума. Отметим, что в некоторых немногочисленных случаях значения признака для пахотных земель и естественной растительности довольно близки, что необходимо учитывать при его использовании для распознавания.*

Описанные признаки были разделены на две группы – основную (индексы  $L_{1/2}$ ,  $MSI$  и  $NSMI$ ), допускающую, в силу своих особенностей, возможность автоматического картографирования пахотных земель на национальном уровне и вспомогательную (остальные индексы). Региональное использование признаков вспомогательной группы и экспертный подбор оптимальных порогов с коррекцией получаемых результатов позволили сформировать опорную выборку для классов используемых пахотных земель и естественной растительности. Построенная таким образом опорная выборка позволяет исследовать пространственную вариабельность значений разработанных признаков для классов распознавания и оценить уровень их локальной разделимости.

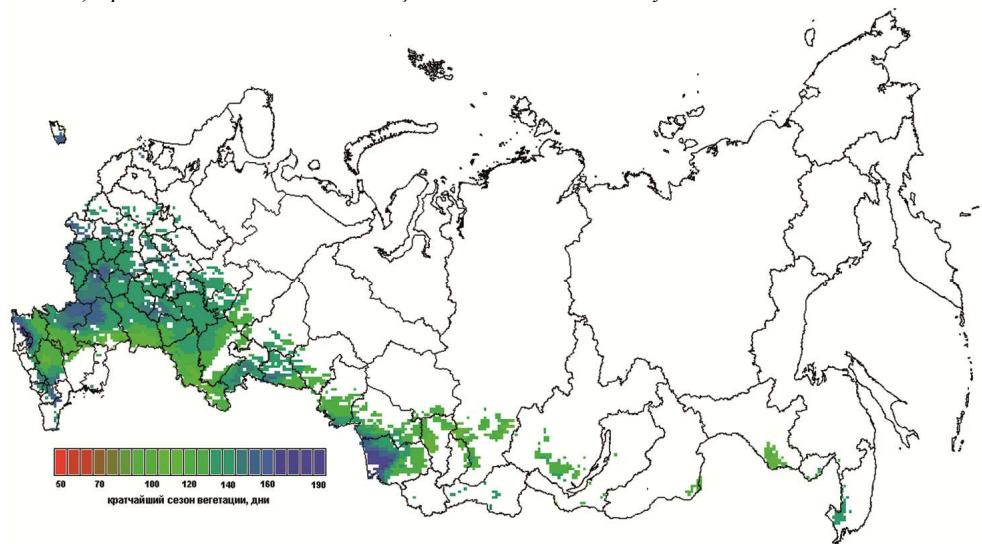
В таблице 2, в частности, представлены результаты оценки локальной разделимости заданных классов на основе гистограмм различных признаков распознавания для участков опорной выборки в центральной части европейской территории России. В качестве критерия разделимости классов было использовано значение трансформированной дивергенции TD [10], значение которой меняется от 0 (полное совпадение гистограмм) до 2000 (полная разделимость гистограмм). Результаты оценки разделимости классов на основе значений TD показывают, что наилучшими дискриминантными возможностями обладает признак кратчайшего сезона вегетации  $L_{1/2}$ , а наименее сильными из исследуемой совокупности признаков – индекс весеннего развития растительности  $MSI$ .

Представленное на рисунках 2а и 2б пространственное распределение на территории России средних значений признака  $L_{1/2}$  для заданных классов позволяет проследить зональный характер изменений агроклиматических условий возделывания культур и географическую вариабельность фенологического развития различных типов естественной растительности. Средние значения признака для обоих классов были вычислены для ячеек с характерным размером 20 км, внутри которых локальные почвенно-климатические условия полагаются близкими. Цвет ячеек на рисунках соответствует средним значениям признака  $L_{1/2}$  для класса пахотных земель (рис. 2а) и класса естественной растительности (рис. 2б).

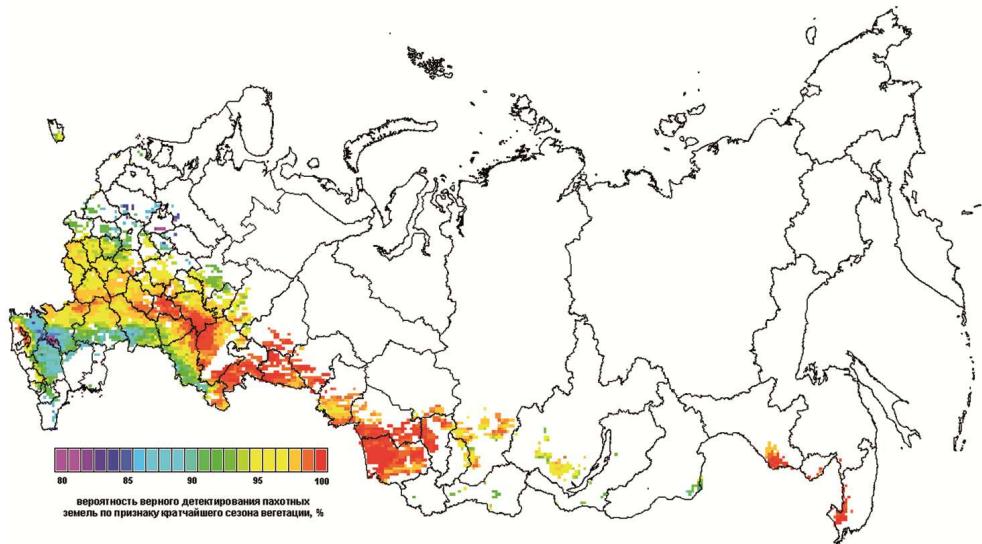
Используя критерий Колмогорова-Смирнова, установлено, что распределения значений признаков для каждого из классов подчиняются закону нормального распределения с уровнем значимости  $\alpha < 0,001$ . При использовании для распознавания метода максимального правдоподобия можно оценить вероятность правильного детектирования класса, как долю отнесенных к данному классу пикселов по отношению к числу пикселов класса в опорной выборке. На рисунке 2в представлено пространственное распределение значений вероятности правильного детектирования пахотных земель на примере признака кратчайшего сезона вегетации. Из рисунка можно видеть, что значение вероятности демонстрирует заметную географическую вариабельность. При этом максимальная вероятность правильного детектирования относится к территориям, где заданные классы представлены примерно в равных пропорциях, а естественная растительность сильно отличается от пашни по средним значениям признака (например, восток европейской части России, юг Сибири, Дальний Восток). В то же время регионы с наибольшими или с наименьшими площадями пашни обладают более низкими значениями вероятности правильного распознавания в связи с сильным доминированием одного из классов. В любом из этих случаев вероятность верного распознавания не опускается ниже 80%, а во многих ячейках достигает 100%, что наглядно демонстрирует возможность использования признака кратчайшего сезона вегетации для решения задачи выявления используемых пахотных земель.



а) кратчайший сезон вегетации для класса используемых пахотных земель



б) кратчайший сезон вегетации для класса естественной растительности



в) вероятность правильного детектирования используемых пахотных земель

Рис. 2. Пространственные распределения средних значений признака кратчайшего сезона вегетации и вероятности правильного распознавания используемых пахотных земель

## **Заключение**

Межгодовые и сезонные особенности развития сельскохозяйственной и естественной растительности были использованы для построения признаков распознавания пахотных земель на основе многолетних рядов спутниковых данных MODIS. Рассмотренные признаки распознавания обладают рядом особенностей, обуславливающих преимущества и ограничения их использования для картографирования пахотных земель. Некоторые из разработанных признаков могут быть использованы для автоматического выявления пахотных земель на всей территории страны, в то время как часть признаков находят эффективное применение лишь на региональном уровне. Проведенные исследования позволили оценить пространственную вариабельность значений признаков распознавания пахотных земель и их локальную разделимость, что было показано на примере одного из наиболее информативных признаков. Полученные результаты наглядно указывают на необходимость разработки локально-адаптивных алгоритмов классификации. На основе предложенных признаков возможно дальнейшее развитие методов и технологий автоматического картографирования пахотных земель по данным спутниковых наблюдений.

## **Литература**

1. *Вандышева Н.М.* Мониторинг сельскохозяйственных земель на базе разномасштабных спутниковых данных // Исследование Земли из космоса, 2003, № 3. С. 72-84.
2. *Муратова Н.Р., Султангазин У.М., Терехов А.Г.* Контроль севооборота пахотных земель северного Казахстана по данным TERRA/MODIS // Сб. науч. стат. Второй всероссийской конф. «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса» под ред. Е.А.Лупяна, О.Ю.Лавровой, М.: GRANP polygraph, 2005. С. 302-307.
3. *Закарин Е.А, Спивак Л.Ф, Архипкин О.П. и др.* Методы дистанционного зондирования в сельском хозяйстве Казахстана // Алматы: «Гылым», 1999, 175 стр.
4. *Барталев С.А., Лупян Е.А., Нейштадт И.А.* Метод выявления используемых пахотных земель по данным дистанционного зондирования со спутников // Сб. научн. статей «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса» под ред. Е.А. Лупяна, О.Ю. Лавровой, М.: «Азбука-2000», 2006. Том 2. С. 271-280.
5. *Justice C.O.* An overview of MODIS Land data processing and product status // Remote Sensing of Environment, 2002. № 83. Р. 3-15.
6. *Бурукев М.А., Мазуров А.А., Нейштадт И.А., Прошин А.А.* Построение архива спутниковых данных для анализа динамики растительности // Сб. научн. статей «Современ-

- ные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса» под ред. Е.А. Лупяна, О.Ю. Лавровой, М.: «Азбука-2000», 2006. Том 1. С. 170-174
7. Егоров В.А., Барталев С.А. Построение временных серий улучшенных композитных изображений по данным MODIS для мониторинга растительности // Сб. тезисов конференции на диске «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса», 2006.
  8. Richardson A.J., Weigand C.L. Distinguishing vegetation from soil background information. // Photogrammetric Engineering & Remote Sensing, 1977. vol.43, P.1541-1552.
  9. Плотников Д.Е., Барталев С.А., Лупян Е.А. Метод детектирования летне-осенних всходов озимых культур по данным радиометра MODIS // Сборник научных статей «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса: Физические основы, методы и технологии мониторинга окружающей среды, потенциально опасных явлений и объектов» под ред. Е.А. Лупяна, О.Ю. Лавровой, М.: «Азбука-2000», 2008, Том 2, Выпуск 5. С. 322-330.
  10. Jensen J.R. Introductory digital image processing: a remote sensing perspective. // 2nd ed. Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall, 1996, P.316.

## **The recognition features to map arable lands based on multi-annual MODIS Earth observation data**

**D. Plotnikov, S. Bartalev, E. Loupian**

*Space Research Institute of Russian Academy of Sciences  
117997 Moscow, 84/32 Profsoyuznaya str.  
E-mail: smis@smis.iki.rssi.ru*

New recognition features to map arable lands based on remotely sensed multi-annual Terra-MODIS surface reflectance data are developed and described in this paper. These features account for specific seasonal and inter-annual behaviour of perpendicular vegetation index (PVI), which strongly correlates with green canopy biomass. In the scope of this research new recognition features separability to discriminate arable land and natural vegetation classes was estimated. Results obtained were found to be applicable for arable lands national monitoring system and is foreseeing to be used as basis for improvement of existing automatic mapping method, as well as useful input for land-use dynamics and crop yield estimation.

**Keywords:** remote sensing, spectral surface reflectance, data time-series, arable lands