

## Методы обнаружения сорняков, болезней и вредителей растений по данным дистанционного зондирования

И.М. Михайленко<sup>1</sup>, И.В. Воронков<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Агрофизический научно-исследовательский институт

Санкт-Петербург, 195220, Россия

E-mail: [ilya.mihailenko@yandex.ru](mailto:ilya.mihailenko@yandex.ru)

<sup>2</sup>ЗАО «Инженерный центр «ГЕОМИР»

Мытищи, 141006, Московская область, Россия

E-mail: [ivoronkov93@mail.ru](mailto:ivoronkov93@mail.ru)

Приведен анализ известного подхода к оцениванию санитарного состояния посевов сельскохозяйственных культур. Он основан на данных космического дистанционного зондирования и использовании вегетационных индексов. Такой подход существенно уменьшает информативность спектральных каналов, так как вегетационные индексы представляют собой скалярную комбинацию сигналов отдельных каналов. В силу стохастичности задачи и высокой априорной неопределенности использование вегетационных индексов не позволяет решать задачу обнаружения сорняков, болезней и вредителей растений. Для решения этой проблемы в работе используется набор спектральных каналов, обладающих наибольшей информативностью. Для отбора таких каналов предложен подход, основанный на теории информации Шеннона. Задачу обнаружения сорняков, вредителей и болезней, в силу большого числа таких объектов, решают в два этапа. На первом этапе используют все спектральные каналы средства космического зондирования и решают задачу классификации групп: сорняки, болезни и вредители. Для решения этой задачи применен вероятностно-статистический подход. При этом принято допущение о нормальном распределении параметров отражения каналов зондирования относительно обнаруживаемых групп классов. На втором этапе уточняют виды классов в группах «сорняки», «болезни», «вредители». Для этого используют байесовскую процедуру классификации с последовательным вводом информации каналов зондирования. Для апробации методов был разработан программно-технический комплекс, ориентированный на формат информации российского космического аппарата «Ресурс-П». Результаты апробации подтвердили работоспособность и высокую надежность предлагаемых методов. Проанализированы причины, сдерживающие реализацию предложенных методов. Они заключаются в отсутствии систематических исследований спектров отражения сорняков, вредителей и болезней для отдельных сельскохозяйственных культур. Разработанный программно-технический комплекс может стать эффективным инструментарием для проведения таких исследований.

**Ключевые слова:** дистанционное зондирование, сорняки, болезни, вредители, обнаружение, байесовские процедуры

Одобрена к печати: 05.04.2016

DOI: 10.21046/2070-7401-2016-13-3-72-83

### Введение

Среди задач текущего контроля состояния посевов сельскохозяйственных культур по данным дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) особое место занимает оценивание санитарного состояния посевов, т.е. обнаружение очагов болезней, вредителей и выявление факта засоренности культуры сорняками. Как правило, для этих задач применяют методику определения различия в спектральных яркостях растительности в течение вегетационного периода и индекс NDVI (Normalized Difference Vegetation Index), когда можно по цветовым тонам изображения полей судить об их состоянии (Антонов, Сладких, 2009; Архипова и др., 2014; Кочубей и др., 1990; Sims, Gamon, 2002; Crippen, 1990; Penuelas et al., 1995; Datt, 1999; Gamon et al., 1997). К настоящему времени известно более 160 различных вегетационных индексов (ВИ). Расчет большей части ВИ базируется на двух наиболее стабильных участках кривой спектральной отражательной способности растений. В своей информационной направленности такой подход обоснован, но он позволяет получать только обобщенные оценки состояния посевов. Важно заметить,

что при расчёте любого ВИ снижается информационный потенциал метода ДЗЗ, так как ВИ представляет собой разновидность линейной свертки сигналов, что всегда приводит к уменьшению общей информативности отдельных каналов. Для повышения информативности задачи оценивания нужно не уменьшать, а, напротив, увеличивать число независимых каналов измерения, как это показано в работе (Архипова и др., 2014), где отмечено, что даже четырёх оптических каналов может быть недостаточно для оценки степени засоренности ценоза и требуется большая дифференциация спектрального диапазона.

Кроме того, существенным недостатком использования ВИ является то, что здесь не учитывается случайный характер самих оптических показателей и производных от них величин индексов для одних и тех же состояний, что связано как с изначальной неопределенностью спектральной принадлежности оцениваемых состояний растений, так и с влиянием приземного слоя атмосферы, физического состояния и морфологии посевов. Указанное обстоятельство может привести к существенным ошибкам в задачах оценивания, а также к серьезным методическим погрешностям, когда при оценивании континуальных величин состояния посевов, таких как биомасса, ее влажность, товарная часть биомассы, применяют такую же методику, как и для оценки санитарного состояния посевов, где появление сорняков, болезней и вредителей в условиях изначальной неопределенности является случайным событием и счетными переменными. В работе (Султангазин и др., 2003) сделана попытка ввода статистических характеристик для оценивания степени засорения сорняками, но задача не была решена до конца, так как не приведено обоснования – как по этим признакам принимать достоверные решения о видах сорняков, болезней и вредителей на поле.

В настоящей работе изложен подход к решению рассматриваемой проблемы, основанный на максимально полном использовании данных ДЗЗ и байесовских вероятностных процедурах, который может использоваться для создания реальных систем мониторинга санитарного состояния сельскохозяйственных угодий.

### **Постановка задачи**

Дистанционное зондирование сельскохозяйственных угодий и последующее дешифрирование полученных изображений с точки зрения современной информационной теории характеризуется, как задача восстановления информации о состоянии системы по косвенным наблюдениям (Михайленко, Плотников, 2010; Михайленко, 2011). Причем для случая восстановления континуальной информации (биомасса, ее структура и качественные показатели) это оптимальное оценивание параметров состояния, а в случае конечного счетного множества состояний (обнаружение сорняков, вредителей и болезней растений) – оптимальная классификация, иногда трактуемая как распознавание образов (Mikhailenko, 2013). Поэтому далее в тексте будем оперировать понятием «классы», под которыми подразумеваются искомые виды сорняков, болезней и вредителей растений.

Как следует из введения, для решения задач оптимального оценивания состояния и распознавания образов необходимо иметь достаточное число спектральных каналов, обеспечивающих требуемую точность и надежность получаемых оценок. Это означает, что система ДЗЗ должна быть оборудована многоканальной оптической системой (мульти-спектральной станцией – МСС). Для ее создания необходимо выбрать наиболее эффективные для решения каждой из задач оценивания каналы (Михайленко, Плотников, 2010). Поэтому выбор наиболее информативных каналов, по сути дела, структуры системы ДЗЗ для системы обнаружения сорняков, болезней и вредителей растений является первым необходимым этапом решения проблемы. Выбор метода исследования информативности используемого канала определяется как характером оптического отражения, так и наличием фактора изначальной информационной неопределенности и случайности появления и обнаружения искомым классов. Отражение света от растений на сельскохозяйственном поле имеет сложный нелинейный характер. Это связано со сложной архитектурой посева, разной степенью поглощения световой энергии в отдельных спектральных областях, где доминантой является экспоненциальная зависимость. Это указывает на то, что использование в качестве показателя информативности корреляционных связей может привести к серьезным ошибкам, так как корреляционный анализ применим только к линейным связям случайных переменных.

Поэтому для анализа информативности будем применять классическую теорию информации (Шеннон, 1963). Согласно этой теории информативность оценивается приростом информации (или уменьшением энтропии) об исследуемом классе, получаемой после оптического измерения, по сравнению с априорной информацией о классе.

Для этого разделим весь оптический диапазон на  $L$  поддиапазонов (каналов), обозначаемых индексами  $l$ . Будем обозначать все возможные классы, которые необходимо обнаружить, индексом  $s$ , при этом для обозначения сорняков будем приписывать дополнительный индекс «1», для обозначения болезней – дополнительный индекс «2», а вредителей – «3».

По результатам предварительных исследований могут быть получены априорные вероятности появления всех перечисленных классов: сорняков –  $p_{s1}$ , болезней –  $p_{s2}$  и вредителей  $p_{s3}$ . Оценки этих вероятностей строятся на основе многолетних наблюдений за посевами культур

$$p_{si} = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N \frac{f_{si,j}}{F_j}, \quad (1)$$

где  $j=1,2,\dots,N$  – индексы и число лет наблюдений,  $f_{si,j}$  – площади посевов рассматриваемой культуры, засоренные сорняками, пораженные болезнями или вредителями; общие площади под культурой в  $j$ -году. На основании этих вероятностей появления классов вычисляется априорная информация об  $s$ -классе до измерения

$$H_{si} = -p_{si} \log p_{si}, \quad i = 1, 2, 3. \quad (2)$$

Для вычисления априорной информации после измерения потребуется модель измерения, отражающая связь состояния  $s$ -класса со спектральной картиной  $l$ -канала. Такой универсальной моделью с учетом вышеуказанного фактора случайности может быть условная вероятность распределения параметров отражения по всем отдельным  $l$ -каналам относительно искомым  $s$ -классов  $p(l|s)$ . Оценки таких вероятностей строятся по спектральным данным ДЗЗ:

$$p(l|si) = \frac{n(l|si, \delta)}{n(l, si)}, \quad (3)$$

где  $n(l|si, \delta)$  – число случаев превышения параметра отражения в  $l$ -канале с заданным пороговым значением  $\delta$  для  $si$ -класса;  $n(l, si)$  – общее число наблюдений в  $l$ -канале для  $si$ -класса.

Информация, получаемая после наблюдения  $s$ -класса  $l$ -каналом, вычисляется следующим образом

$$H_{l,si} = - p(l|si) \log p(l|si). \quad (4)$$

В качестве показателя информативности  $l$ -канала по отношению к  $si$ -классу используется относительное приращение информации, полученное после измерения:

$$IN_{l,si} = \frac{H_{si} - H_{l,si}}{H_{si}} 100\%. \quad (5)$$

По этим показателям вычисляется показатель абсолютной информативности  $l$ -канала по всем классам:

$$IN_l = \sum_{si=1}^3 IN_{si,l}. \quad (6)$$

Для удобства использования конкретных спектральных диапазонов и каналов в алгоритмах обнаружения сорняков, болезней и вредителей показатели информативности (5), (6) необходимо ранжировать по величине, при этом в состав измерительной системы включаются каналы, обладающие максимальной информативностью. Параметры отражения, формируемые этими каналами, объединяются в вектор наблюдений  $Y$ .

### Метод решения

Большое число классов, которые необходимо распознавать по данным ДЗЗ, приводит к необходимости решения задачи в два этапа: сначала классифицировать группы классов  $s_1, s_2, s_3$ , а затем уже выявить вид класса в составе группы. Для обнаружения групп классов целесообразно использовать всю спектральную картину системы ДЗЗ, т.е. полный вектор  $Y$ , для которого строятся следующие статистические характеристики: векторы условных математических ожиданий  $m_1, m_2, m_3$  и ковариационные матрицы  $K_1, K_2, K_3$ .

По этим характеристикам строятся условные плотности вероятности средних значений спектров каналов для каждой группы классов:

$$f(Y|s) = \frac{1}{\sqrt{2\pi^r |K_s|}} \exp\left\{-\frac{1}{2}(Y - m_s)^T K_s^{-1}(Y - m_s)\right\}, s = 1, 2, 3. \quad (7)$$

Вводя отношение правдоподобия для пары групп классов

$$\theta(z) = \frac{f(Y|s_{1i})}{f(Y|s_{2i})}, i = 1, 2, 3 \quad (8)$$

и беря его удвоенный логарифм, получим решающую функцию обнаружения групп классов в следующем виде (де Гроот, 1974):

$$\theta(Y) = Y^T (K_{2i}^{-1} - K_{1i}^{-1})Y + 2(m_{1i}^T K_{1i}^{-1} - m_{2i}^T K_{2i}^{-1})Y, i = 1, 2, 3. \quad (9)$$

Пороговое значение решающей функции определяется следующим образом (де Гроот, 1974):

$$c_i = 2 \ln \frac{p_{2i}}{p_{1i}} + \ln \frac{|K_{1i}|}{|K_{2i}|} + m_{1i}^T K_{1i}^{-1} m_{1i} + m_{2i}^T K_{2i}^{-1} m_{2i}, i = 1, 2, 3, \quad (10)$$

где  $|K_{1i}|$ ,  $|K_{2i}|$  – нормы матриц ковариаций спектров отдельных каналов для групп классов.

Оценки векторов  $m_1$ ,  $m_2$ ,  $m_3$  и ковариационных матриц  $K_1$ ,  $K_2$ ,  $K_3$  определяются по данным ДЗЗ следующим образом:

$$m_{ji} = \frac{1}{N_{ji}} \sum_{n=1}^{N_{ji}} Y_{n,ji}, i = 1, 2, 3; j = 1, 2, \dots, J_i, \quad (11)$$

где  $j = 1, 2, \dots, J_i$  – индексы и число классов в группах,  $n = 1, 2, \dots, N_{ji}$  – индексы и число наблюдений вектора спектров отражения по группам классов и классам внутри групп;

$$K_{ji} = \frac{1}{(N_{ji} - 1)} \sum_{n=1}^{N_{ji}} (Y_{n,ji} - m_{ij})(Y_{n,ji} - m_{ij})^T, i = 1, 2, 3; j = 1, 2, \dots, J_i. \quad (12)$$

При этом решающее правило обнаружения групп классов выглядит следующим образом:

$$\begin{aligned} s_i &= 1 \text{ при } \theta(Z_j) > c_i, \\ s_i &= 2 \text{ при } \theta(Z_j) < c_i, i = 1, 2, 3. \end{aligned} \quad (13)$$

Согласно правилу (12), задача обнаружения решается попарно для каждой группы с каждой, и такие сравнения необходимо произвести три раза, в результате чего и выявляется наиболее достоверная группа классов.

После того как установлена наиболее вероятная группа классов (группа классов s1 – сорняки, группа классов s2 – болезни, группа классов s3 – вредители), необходимо обнаружить наиболее вероятный вид классов внутри группы. При решении этой задачи нужно учитывать следующие особенности.

Во-первых, в силу того, что отдельные классы, как и используемые спектральные каналы, не связаны между собой, то для обнаружения классов можно использовать последовательно столько каналов, сколько необходимо для обеспечения требуемой надежности

обнаружения. Это позволяет эффективно использовать модель условной вероятности распределения параметров отражения по всем отдельным  $l$ -каналам относительно искомым  $s$ -классов  $p(l|s)$ .

Во-вторых, ошибки обнаружения влекут за собой ущерб, связанный с неадекватным выбором технологии борьбы и излишними затратами на ресурсы, а также прямые потери урожая культур. Возможные потери учитываются специально задаваемой матрицей  $U_s = [N_s \times N_s]$ .

Наличие такой матрицы потерь позволяет ввести критерий оптимальности процедуры обнаружения искомым классов (де Гроот, 1974):

$$s^* = \arg \min_s \{\rho_s\} = \mathbf{U} \times [\mathbf{I} - \mathbf{P}(s|l)], \quad (14)$$

где  $\mathbf{P}(s|l)$  – вектор апостериорных вероятностей обнаружения всех классов  $s$ -группы по параметру отражения  $l$ -канала;  $\mathbf{I}$  – единичный вектор размерностью  $N_s$ ,  $\rho_s$  – вектор частных рисков ошибочного обнаружения отдельных классов группы.

Сама процедура оптимального обнаружения по критерию (10) выглядит следующим образом.

Последовательно, в порядке убывания информативности вводятся спектральные каналы  $l_k$ . При этом решение о вводе каждого канала (измерении) принимается по факту превышения порогового значения параметра отражения в данном канале, которое (значение) использовалось при оценивании условных вероятностей распределения параметров отражения по всем отдельным  $l$ -каналам относительно искомым  $s$ -классов  $p(l|s)$ .

При введении  $l$ -канала уточняется каждый компонент вектора апостериорных вероятностей обнаружения всех классов (Миленький, 1975):

$$p(s|l) = \frac{p(l|s)p(s|l-1)}{\sum_{s=1}^{N_s} p(l|s)p(s|l-1)}, \quad l = 0, 1, 2, \dots, L$$

$$p(s|0) = p_s. \quad (15)$$

После объединения всех компонентов (15) в вектор  $\mathbf{P}(s|l)$  уточняется вектор частных рисков ошибочного обнаружения отдельных классов группы:

$$\rho_s(l) = \mathbf{U} \times [\mathbf{I} - \mathbf{P}(s|l)]. \quad (16)$$

Для принятия решения о дальнейшем вводе очередного спектрального канала ( $l+1$ ) выявляют максимальное значение компонента (15) и сравнивают его с заданным значением показателя надежности обнаружения, и если оно достигает этого порога, то процедура останавливается, т.е. если  $p(l|s)_{\max} \geq \delta$ . В противном случае вводится новый спектральный канал ( $l+1$ ).

После останова процесса ввода спектральных каналов искомый класс выбирается в соответствии с критерием (15), т.е. критерием, которому соответствует минимальный риск.

На *рис. 1* представлена блок-схема всего комплекса задач по обнаружению сорняков, вредителей и болезней растений, использующая все рассмотренные здесь процедуры

и правила. Заметим, что единичным объектом классификации является один пиксель электронного гиперспектрального снимка, которому соответствует элементарный участок поля, площадь которого зависит от пространственного разрешения системы ДЗЗ – авиационной или спутниковой. Для ускорения счета возможно предварительное выявление однородных зон с близкими показателями отражения, которые и станут более крупными объектами классификации.

### Апробация

Отсутствие в настоящее время систематических исследований по рассматриваемой проблеме и исчерпывающих БД со спектральными характеристиками искомых классов приводит к необходимости апробации предложенных методов и компьютерных программ на модельном примере. Так, в *табл. 1* приведены спектры отражения всех трех возможных классов для посева яровой пшеницы. Эти данные максимально ориентированы на формат мультиспектральной аппаратуры ШМСА-ВР российского КА «Ресурс-П», что позволяет использовать разработанный диагностический комплекс без каких-либо доработок в реальной системе космического мониторинга сельскохозяйственных посевов. Здесь не воспроизводилась детализация видов сорняков, поскольку в реальных условиях чаще всего необходимо только определение степени засорения посева, так как не существует технологий выборочной ликвидации сорных растений. Для болезней моделировались спектры, свойственные листовой ржавчине (s21) и мучнистой росе (s22). Для вредителей моделировались спектры, свойственные яровой пшеничной мухе (s31) и хлебной жужелице (s32).

В *табл. 2* приведены оценки вероятности распределения параметров отражения по спектральным каналам и всем обнаруживаемым классам, полученные по результатам обработки 100 спектральных наблюдений формата *табл. 1*.

Исходные данные дополняются матрицами потерь от ошибок распознавания видов болезней и вредителей посевов, посредством которых оцениваются риски принятия решений.

На графике (*рис. 2*) представлена диаграмма процесса распознавания групп классов: «сорняки», «болезни» и «вредители». На этапе обучения обеспечивается безошибочное распознавание групп, надежность процедуры иллюстрируется априорной вероятностью решений, которая колеблется в пределах 0,75–0,9. Здесь же отражается и режим открытой классификации по априори неизвестному классу, задаваемому произвольным набором параметров отражения на всех пяти спектральных каналах.

В *табл. 3* приведены результаты классификации видов болезней и вредителей, полученные согласно процедуре (15), (16) и порогового значения вероятности правильного обнаружения  $\delta = 0,75$ . Из таблицы видно, что для уточнения вида класса в группах достаточно ввода информации с первых двух наиболее информативных каналов (2-го и 5-го). Остальная информация не улучшает надежности принимаемых решений.

Заметим, что если пороговое значение надежности не будет достигнуто после ввода информации со всех каналов, то решение принимается на следующих сеансах съемки.

Таблица 1. Спектры отражения посевов с сорняками, болезнями и вредителями

Наименование и виды классов			№№ каналов и длины волн, мкм КА «Ресурс-П»				
			1 0,43-0,51	2 0,52-0,58	3 0,60-0,70	4 0,71-0,80	5 0,81-0,90
Посев с сорняками, s1	s11	1	0,010	0,036	0,011	0,205	0,243
		2	0,044	0,147	0,052	0,698	0,608
		3	0,076	0,169	0,098	0,313	0,312
	s12	4	0,030	0,026	0,011	0,405	0,643
		5	0,084	0,214	0,152	0,698	0,408
		6	0,095	0,115	0,248	0,213	0,612
Посев с болезнями, s2	s21	7	0,122	0,095	0,428	0,65	0,12
		8	0,144	0,145	0,492	0,44	0,18
		9	0,116	0,186	0,42	0,46	0,11
	s22	10	0,141	0,127	0,523	0,334	0,092
		11	0,135	0,223	0,485	0,262	0,21
		12	0,115	0,142	0,331	0,32	0,131
Посев с вредителями, s3	s31	13	0,44	0,58	0,251	0,015	0,043
		14	0,56	0,47	0,352	0,058	0,08
		15	0,34	0,55	0,148	0,043	0,112
	s32	16	0,520	0,387	0,264	0,035	0,043
		17	0,634	0,576	0,155	0,050	0,08
		18	0,346	0,368	0,259	0,072	0,045
Неизвестные классы	?	19	0,064	0,090	0,125	0,546	0,123
	?	20	0,124	0,131	0,224	0,232	0,056

Таблица 2. Оценки вероятности распределения параметров отражения по спектральным каналам и классам

Наименование и виды классов		№№ каналов и длины волн, мкм; вероятности распределения параметров отражения				
		1 0,43-0,51	2 0,52-0,58	3 0,60-0,70	4 0,71-0,80	5 0,81-0,90
Посев с болезнями, s2	$P_{S21}$	0,17	0,15	0,42	0,58	0,65
	$P_{S22}$	0,09	0,38	0,55	0,71	0,22
Посев с вредителями, s3	$P_{S31}$	0,52	0,69	0,12	0,06	0,04
	$P_{S32}$	0,12	0,49	0,75	0,21	0,18
Информативность, %		36,0	47,6	43,6	43,2	44,6

Матрицы потерь от ошибок распознавания:

$$\text{видов болезней растений } U_{s2} = \begin{bmatrix} 0 & 6,0 \\ 4,0 & 0 \end{bmatrix} (\text{руб.}/\text{м}^2);$$

$$\text{видов вредителей растений } U_{s3} = \begin{bmatrix} 0 & 3,5 \\ 4,5 & 0 \end{bmatrix} (\text{руб.}/\text{м}^2).$$

Таблица 3. Классификация видов болезней и вредителей

№№ каналов	Болезни					Вредители				
	решение о классе	s21		s22		решение о классе	s31		s32	
		вероятн.	риск	вероятн.	риск		вероятн.	риск	вероятн.	риск
2	–	0,283	1,7	0,717	2,87	–	0,585	2,63	0,415	1,45
<b>5</b>	<b>s22</b>	<b>0,25</b>	<b>4,5</b>	<b>0,75</b>	<b>1,0</b>	<b>s32</b>	<b>0,19</b>	<b>0,86</b>	<b>0,81</b>	<b>0,52</b>
3	–	0,433	2,6	0,567	2,27	–	0,14	0,63	0,86	3,01
4	–	0,45	2,7	0,55	1,8	–	0,22	0,99	0,78	2,73
1	–	0,653	3,27	0,346	1,38	–	0,81	3,65	0,19	0,66



Рис. 1. Блок-схема системы обнаружения сорняков, вредителей и болезней растений по данным ДЗЗ

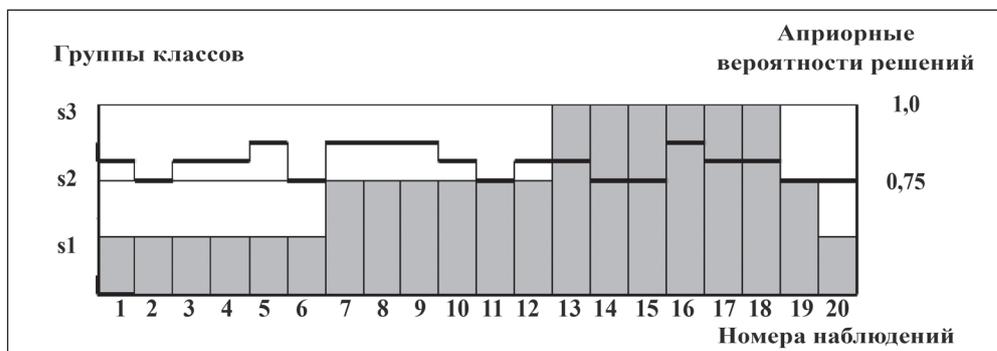


Рис. 2. Диаграмма процесса распознавания групп классов: «сорняки», «болезни» и «вредители»

## Обсуждение

В работе рассмотрены байесовские методы обнаружения сорняков, вредителей и болезней растений. Они реализуются простыми с вычислительной точки зрения алгоритмами распознавания образов в условиях информационной неопределенности, что имеет место при использовании данных ДЗЗ. Существует еще ряд других методов, более сложных в математическом и информационно-вычислительном отношении. Особого внимания заслуживает метод сравнения с эталонным образом (Омельченко, 1983). Однако он также требует предварительного выявления наиболее информативных спектральных каналов, а для его реализации требуется информационно емкая БД спектральных образов всех классов и длительная процедура последовательного перебора эталонов в алгоритме сравнения. Это существенно усложняет работу системы, учитывая, что базовым объектом сравнения является один пиксель изображения, а общее число пикселей в спектральных картинах очень велико.

Апробация программно-технического комплекса, реализующего предлагаемый метод, показала его работоспособность и возможность применения для информации, формируемой аппаратурой КА «Ресурс-П» без специальной доработки. Это обеспечивается наличием режима адаптации, за счет которого обеспечивается оценивание всех параметров решающих правил.

Проблема полномасштабной реализации предлагаемой системы заключается в отсутствии достаточного объема гиперспектральных данных о посевах с основными видами сорняков, болезней и вредителей для базовых сельскохозяйственных культур. В связи с этим до настоящего времени не обоснован выбор наиболее информативных каналов приборов ДЗЗ для успешного решения задач их обнаружения.

## Литература

1. Антонов В.Н., Сладких Л.А. Мониторинг состояния посевов и прогнозирование урожайности яровой пшеницы по данным ДЗЗ // Геоматика. 2009. № 4. С. 50–53.
2. Архипова О.Е., Качалина Н.А., Тютюнов Ю.В., Ковалев О.В. Оценка засоренности антропогенных фитоценозов на основе дистанционного зондирования земли (на примере амброзии полынолистной) // Исследование Земли из космоса. 2014. № 6. С. 15–26.
3. Де Гроот М. Оптимальные статистические решения. М.: Мир, 1974. 491 с.
4. Кочубей С.М., Шадчин Т.М., Кобец Н.И. Спектральные свойства растений как основа методов дистанционной диагностики. Киев: Наукова думка, 1990. 134 с.
5. Миленский А.В. Классификация сигналов в условиях неопределенности. М.: Советское радио, 1975. 356 с.
6. Михайленко И.М. Основные задачи оценивания состояния посевов и почвенной среды по данным космического зондирования // Экологические системы и приборы. 2011. № 8. С. 17–25.
7. Михайленко И.М., Плотников А.М. Информативность дистанционных зондирующих измерителей состояния посевов и почвенной среды // Экологические системы и приборы. 2010. № 4. С. 32–36.
8. Омельченко В.А. Основы спектральной теории распознавания образов. Харьков: Вища школа, 1983. 159 с.
9. Султангазин У.М., Муратова Н.Р., Дорайсвами Р., Терехов А.Г. Оценка санитарного состояния сельскохозяйственных угодий с помощью данных дистанционного зондирования // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2004. С. 286–290.
10. Шеннон К. Работы по теории информации и кибернетике. М.: Изд-во иностранной литературы, 1963. 295 с.
11. Crippen R.E. Calculating the Vegetation Index Faster // Remote Sensing of Environment. 1990. Vol. 34. P. 71–73.
12. Datt B. A New Reflectance Index for Remote Sensing of Chlorophyll Content in Higher Plants: Tests Using Eucalyptus Leaves // Journal of Plant Physiology. January 1999. Vol. 1. P. 30–36.
13. Gamon J.A., Serrano L., Surfus J.S. The Photochemical Reflectance Index: An Optical Indicator of Photosynthetic Radiation Use Efficiency Across Species, Functional Types and Nutrient Levels // Oecologia. 1997. Vol. 112. Issue 4. P. 492–501.

14. Mikhailenko I.M. Assessment of crop and soil state using satellite remote sensing data // International Journal of Information Technology & Operations Management. Vol. 1. No. 5. August 2013. P. 41–51.
15. Penuelas J., Baret F., Filella I. Semi-Empirical Indices to Assess Carotenoids/Chlorophyll-a Ratio from Leaf Spectral Reflectance // Photosynthetica. 1995. Vol. 31. P. 221–230.
16. Sims D.A., Gamon J.A. Relationships Between Leaf Pigment Content and Spectral Reflectance Across a Wide Range of Species, Leaf Structures and Developmental Stages // Remote Sensing of Environment. 2002. P. 337–354.

## Methods for detection of weeds, pests and diseases of plants from remote sensing data

I.M. Mikhailenko<sup>1</sup>, I.V. Voronkov<sup>2</sup>

<sup>1</sup>*Agrophysical Research Institute, Saint-Petersburg 195220, Russia*

*E-mail: ilya.mihailenko@yandex.ru*

<sup>2</sup>*JGSC "Engineering Center "GEOMIR", Mytishi 141006, Moscow region, Russia*

*E-mail: ivoronkov93@mail.ru*

A method for a crop state evaluation on the basis of space remote sensing data and vegetation indices is discussed. The method essentially reduces the informativeness of the spectral channels as the vegetation indices represent convolution of signals of individual channels. Besides, both a stochastic character of the problem and an initially high uncertainty do not allow solving the problem of weed detection, as well as detection of plant diseases and pests using vegetation indices. To solve the problem, we propose to use a set of spectral channels with the highest informativeness. The selection of the channels is based on the Shannon theory of information. The problem of weed, plant disease and pest detection can be solved in two steps. The first step includes the use of the information from all the spectral channels and satellite remote sensors to develop a classification for such groups as "weeds", "diseases" and "pests". To fulfill the first step a statistical approach is used with an assumption that the reflectance parameters of the sensing channels have normal distribution when the three above mentioned groups are being separated. The second step includes an exact specification for different types or classes within the three selected groups. The Bayesian classification procedure with a subsequent input of information from different sensing channels is used for this purpose. A software and hardware complex was developed to test the proposed method. It uses the information format from Resurs-P Russian spacecraft. The results of testing confirmed the functionality and high reliability of the proposed method. The reasons for hindering the implementation of the method were analyzed. These reasons are considered to be the absence of systematic studies on the reflection spectra of weeds, diseases and pests for individual crops. The developed software and hardware complex can be an effective tool in such studies.

**Key words:** remote sensing, weeds, diseases, pests, detection, Bayesian procedures

*Accepted: 05.04.2016*

*DOI: 10.21046/2070-7401-2016-13-3-72-83*

### References

1. Antonov V.N., Sladkikh L.A. Monitoring sostoyaniya posevov i prognozirovanie urozhainosti yarovoi pshenitsy po dannym DZZ (Monitoring of a condition of crops and forecasting of productivity of a spring-sown field according to DZZ), *Geomatika*, 2009, No. 4, pp. 50–53.
2. Arkhipova O.E., Kachalina N.A., Tyutyunov Yu.V., Kovalev O.V. Otsenka zasorennosti antropogennykh fitotsenozov na osnove distantsionnogo zondirovaniya zemli (na primere ambrozii polynolistnoi) (Estimation of a contamination of anthropogenous fitotsenosis on the basis of remote sensing of the earth (on the example of an ambrosia wormwood-leaved)), *Issledovanie Zemli iz kosmosa*, 2014, No. 6, pp. 15–26.
3. DeGroot M.H. *Optimal'nye statisticheskie resheniya* (Optimum statistical decisions), Moscow: Mir, 1974, 491 p.
4. Kochubei S.M., Shadchina T.M., Kobets N.I. *Spektral'nye svoystva rastenii kak osnova metodov distantsionnoi diagnostiki* (Spectral properties of plants as basis of methods remote diagnostics), Kiev: Naukova dumka, 1990, 134 p.
5. Milen'kii A.V. *Klassifikatsiya signalov v usloviyakh neopredelennosti* (Classification of signals in the conditions of uncertainty), Moscow: Sovetskoe radio, 1975, 309 p.
6. Mikhailenko I.M. Osnovnye zadachi otsenivaniya sostoyaniya posevov i pochvennoi sredy po dannym kosmicheskogo zondirovaniya (The main objectives of estimation of a condition of crops and the soil environment according to space sounding), *Ekologicheskie sistemy i pribory* (Ecological systems and devices), 2011, No. 8, pp. 17–25.
7. Mikhailenko I.M., Plotnikov A.M. Informativnost' distantsionnykh zondiruyushchikh izmeritelei sostoyaniya posevov i pochvennoi sredy (Informational content of the remote probing measuring instruments of a condition of crops and soil), *Ekologicheskie sistemy i pribory* (Ecological systems and devices), 2010, No. 4, pp. 32–36.

8. Omel'chenko V.A. *Osnovy spektral'noi teorii raspoznavaniya obrazov* (Bases of the spectral theory of image identification), Khar'kov: Vishcha shkola, 1983, 159 p.
9. Sultangazin U.M., Muratova N.R., Doraisvami R., Terekhov A.G. Otsenka sanitarnogo sostoyaniya sel'sko-khozyaistvennykh ugodii s pomoshch'yu dannykh distantsionnogo zondirovaniya (Estimation of a sanitary condition of agricultural grounds by means of remote sensing), *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2004, pp. 286-290.
10. Shannon C. *Raboty po teorii informatsii i kibernetike* (Works on the theory of information and cybernetics), Moscow: Izd. inostrannoi literatury, 1963, 295 p.
11. Crippen R.E. Calculating the Vegetation Index Faster, *Remote Sensing of Environment*, 1990, Vol. 34, pp. 71-73.
12. Datt B. A New Reflectance Index for Remote Sensing of Chlorophyll Content in Higher Plants: Tests Using Eucalyptus Leaves, *Journal of Plant Physiology*, January 1999, Vol. 1, pp. 30-36.
13. Gamon J.A., Serrano L., Surfus J.S. The Photochemical Reflectance Index: An Optical Indicator of Photosynthetic Radiation Use Efficiency Across Species, Functional Types and Nutrient Levels, *Oecologia*, 1997, Vol. 112, Issue 4, pp. 492-501.
14. Mikhailenko I.M. Assessment of crop and soil state using satellite remote sensing data, *International Journal of Information Technology & Operations Management*, August 2013, Vol. 1, No. 5, pp. 41-52.
15. Penuelas J., Baret F., Filella I. Semi-Empirical Indices to Assess Carotenoids/Chlorophyll-a Ratio from Leaf Spectral Reflectance, *Photosynthetica*, 1995, Vol. 312, pp. 221-230.
16. Sims D.A., Gamon J.A. Relationships Between Leaf Pigment Content and Spectral Reflectance Across a Wide Range of Species, Leaf Structures and Developmental Stages, *Remote Sensing of Environment*, 2002, pp. 337-354.