

Применение методов дистанционного зондирования Земли для оценки состояния растительного покрова

Н. И. Кобец¹, О. А. Войнов²

¹Международная ассоциация «Украинский центр менеджмента земли и ресурсов», Киев

²Институт агроэкологии и биотехнологии УААН, Киев

ВВЕДЕНИЕ

Дистанционные методы исследования окружающей среды в силу своей большой обзорности незаменимы для мониторинга и комплексного анализа многих явлений и процессов. В настоящее время дистанционное зондирование Земли (ДЗЗ) как отрасль научных исследований переживает бурное развитие. В связи с этим аэрокосмические методы оценки состояния растительного покрова находят все более широкое применение для решения самых разнообразных задач: от оценки состояния и продуктивности культурных растений и оптимизации сельскохозяйственной практики в пределах отдельно взятого поля (технологии «точного земледелия» — Precision Farming) до оценок динамики развития, состояния и продуктивности растительного покрова в глобальных масштабах (на уровне регионов и континентов).

Тем не менее, несмотря на наблюдаемый сейчас бум в области информационных и аэрокосмических технологий и растущую популярность методов ДЗЗ, есть определенный разрыв между теоретическими исследованиями, научно-исследовательскими разработками и практическим применением результатов этих исследований для решения многих, и в частности агроресурсных, задач. Так, несмотря на то, что дистанционные исследования агроресурсов ведутся уже в течение многих лет, большинство из них по-прежнему пребывают либо на стадии чисто научно-исследовательских разработок, либо на стадии демонстрационных проектов. Для практического использования методов ДЗЗ в системе мониторинга состояния растительного покрова необходимо решение еще очень многих проблем методологического, технического, экономического и организационного характера.

Настоящая статья не претендует на полноту, а является всего лишь попыткой дать наиболее общие

представления о круге решаемых задач, современных методах тематической интерпретации данных ДЗЗ в интересах оценки состояния растительного покрова и тенденциях развития этой отрасли научных знаний.

НЕКОТОРЫЕ ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ СПЕКТРАЛЬНОГО ОТКЛИКА РАСТИТЕЛЬНОСТИ

Взаимодействие электромагнитного излучения с растительным покровом имеет достаточно сложный характер. Поскольку при этом можно выделить отраженный, поглощенный и прошедший через растительный слой потоки лучистой энергии, то подстилающую поверхность следует рассматривать скорее как систему «почва—растительность». В этом случае согласно современным представлениям [5, 4, 7] свойства электромагнитного светового потока, отраженного от системы «почва—растительность» определяются в основном пятью факторами:

— оптическими свойствами листьев и других фитоэлементов растений, которые весьма вариabельны во времени и существенным образом зависят от параметров окружающей среды,

— структурой (архитектоникой) растительного покрова (густота стояния растений, площадь листовой поверхности, преимущественная ориентация листьев, степень проективного покрытия почвы растениями), которые также изменяются в течение вегетационного периода,

— отражательной способностью почвы, которая зависит от типа почвы (гранулометрический состав, содержание гумуса), наличия на поверхности мульчирующего слоя (растительных остатков), степени и вида обработки, влажности и других факторов,

— условиями съемки (облачность, соотношение

прямой и рассеянной радиации, азимут визирования по Солнцу, направление рядков (для пропашных сельскохозяйственных культур),

— параметрами атмосферного пропускания (длина оптического пути, характер рассеяния (рассеяние Ми, Рэля или неселективное рассеяние), что обусловлено размерами атмосферных частиц (молекулы газов, пылевые частицы, аэрозоли, капли влаги и т. д.).

Каждый из указанных факторов оказывает преимущественное влияние на ту или иную характеристику отраженного от системы «почва—растительность» светового потока. Так, отражение от фитозлементов и от почвы обуславливает спектральное распределение интенсивности отраженного сигнала, а архитектура и условия освещения — пространственное.

Основным фитозлементом, определяющим спектральный отклик растительности являются листья растений, которые отражают, поглощают и пропускают падающее излучение способом, характерным для пигментированных клеток, содержащих водные растворы [1]. С оптической точки зрения лист представляет собой чрезвычайно сложную гетерогенную систему, сильно рассеивающую лучистую энергию. Относительно низкая отражательная способность листьев в видимой области спектра, равно как и низкое пропускание, обусловлено поглощением света пигментными системами листа, в особенности в синей (около 450 нм) и в красной (около 670 нм) областях спектра [1, 3, 12, 16].

Поглощение энергии в области физиологически активной радиации (ФАР, $\lambda\lambda$ 350—750 нм) определяется главным образом хлорофиллом и каротеноидами. При этом поглощение каротеноидами ощутимо лишь в области 350—550 нм, а в области длин волн больше 550 нм практически все поглощение может быть приписано хлорофиллу [12]. В ближней ИК-области наблюдается заметное возрастание отражательной способности листьев (до 40—50 %), что обусловлено многократными внутренними отражениями в структуре мезофилла, возникающими вследствие различий показателей преломления оболочек клеток и внутритканевых воздушных полостей [16].

Участок спектра отражения растительности в диапазоне 680—750 нм часто называют «красным краем». Многочисленными исследованиями было установлено, что положение длины волны «красного края» отражения, определяемое как положение максимума первой производной от функции отражения, не является постоянной во времени характеристикой. При оценке состояния культурной растительности выделяют два периода развития растений, границей между которыми является конец фазы колошения—начало фазы цветения. Первый

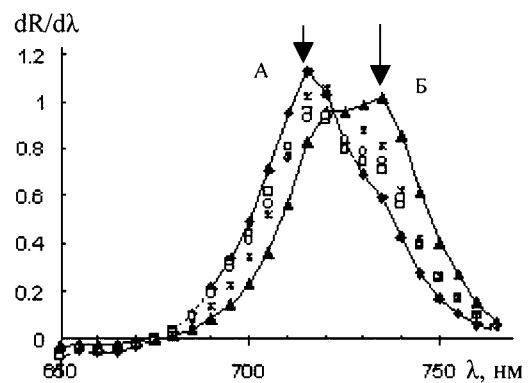


Рис. 1. Длинноволновый сдвиг положения «красного края» отражения листьев пшеницы (А — выход в трубку, Б — колошение)

период характеризуется усиленным ростом растений (накоплением биомассы) и увеличением содержания пигментов в листьях, при этом увеличивается проективное покрытие, так что вклад почвы в отражение от системы «почва—растительность» в случае оптически плотного растительного покрова уменьшается почти до нуля. В течение второго периода происходит незначительное уменьшение биомассы (за счет потери воды и частичного отмирания некоторых фитозлементов) и существенное снижение концентрации пигментов.

В первую половину вегетации по мере накопления хлорофилла происходит сдвиг положения «красного края» в длинноволновую область спектра (рис. 3), а во вторую половину вегетации при уменьшении содержания хлорофилла в органах растений — в коротковолновую. Таким образом, положение длины волны «красного края» отражения растительности является информативным параметром для определения фенологических характеристик растительности [6].

Развитие и физиологическое состояние отдельного растения и растительного сообщества в целом в значительной мере определяется влиянием ряда внешних факторов. Эти факторы можно сгруппировать следующим образом:

— факторы внешней среды (географические и гидрометеорологические), такие как особенности рельефа и почвенного покрова, засуха, заморозки, шквальные ветры, недостаток или переизбыток влаги и т. д.,

— биологические факторы — поражения разнообразными вредителями (насекомыми, грызунами), заболевания растительности различной этиологии или угнетение посевов сорняками,

— антропогенные факторы — загрязнение с/х угодий токсикантами (тяжелые металлы, радионуклиды, пестициды), нарушение сельскохозяйственной практики (несоблюдение норм высева, недоста-

ток основных элементов питания и т. д.).

Воздействие факторов внешней среды приводит к целому ряду физиологических и морфологических изменений как у отдельно взятого растения (микроуровень), так и у растительного сообщества в целом (макроуровень).

На микроуровне растения реагируют изменением количественного и качественного содержания пигментов, структуры мезофилла, а также изменениями свойств поверхности листьев и влагосодержания в них. Такая реакция всегда находит свое изменение в изменении спектрального отклика растительности, становясь особенно очевидной, если экстремальным состоянием окружающей среды растения переведены в стрессовое состояние.

Как правило, физиологический стресс у растений находит свое выражение в торможении процессов пигментообразования, что приводит к уменьшению концентрации хлорофилла в листьях. Это явление называется «хлороз». Как следствие происходит поглощение листом лишь незначительной части светового потока в голубой и красной зонах спектра. При этом доля отраженного светового потока в видимом диапазоне возрастает. Содержание влаги и морфология фитоэлементов подвержены влиянию факторов внешней среды в значительно меньшей степени.

На макроуровне основными параметрами, формирующими спектральный отклик растительности и наиболее подверженными влиянию стрессовых факторов, являются биомасса и архитектура растительного покрова. Нарушение физиологических процессов на микроуровне, проявляющееся в ингибировании процессов пигментообразования и снижении фотосинтетической активности хлорофилла, в конечном счете приводит к снижению биологической продуктивности фитоценоза и уменьшению растительной биомассы. Кроме того, произрастание растений в неблагоприятных условиях может проявляться в следующих изменениях:

- изменение видового состава естественных растительных ассоциаций;
- мутационные явления;
- нарушение роста и развития растений;
- фенологические сдвиги.

Последние две группы изменений в растительных сообществах обусловлены генетически, так как генетически контролируемые фенологические циклы тесно связаны с ростовыми процессами. Все перечисленные изменения неизбежно проявляются в нарушениях архитектуры растительного покрова: изменении степени проективного покрытия (ПП) почвы растениями, преимущественных углов ориентации фитоэлементов, листового индекса.

Следует отметить, что изменения коэффициентов спектрального отражения, вызванные недостат-

ком или избытком элементов питания, тяжелых металлов, пестицидов, водным стрессом или заболеванием растений, имеют сходный характер, что усложняет задачу идентификации типа стресса только на основе спектральных измерений и требует проведения на участках съемок дополнительных ботанических, биофизических и биохимических исследований.

Как правило, воздействие стрессовых факторов (независимо от вида) приводит к целому ряду физиологических и морфологических изменений как у отдельно взятого растения, так и у растительного сообщества в целом. Под воздействием совокупности указанных изменений происходит существенное изменение спектральных характеристик отраженного фитоценозом светового потока, что может быть зафиксировано дистанционными методами.

Таким образом, спектральный отклик находящейся в стрессовом состоянии растительности отличается от спектрального отклика здоровых растений, находящихся в той же самой фазе развития.

ДИСТАНЦИОННЫЕ МЕТОДЫ ОЦЕНКИ СОСТОЯНИЯ РАСТИТЕЛЬНОГО ПОКРОВА

Дистанционные методы оценки состояния растительного покрова (в том числе и сельскохозяйственных угодий) развиваются в двух направлениях: визуальные оценки и инструментальные измерения. Как правило, визуальные методы оценки состояния посевов сельскохозяйственных культур используются для приблизительной (в баллах) оценки таких параметров состояния культурной растительности, как ПП, изреженность, повреждение вредителями, засоренность, равномерность и степень созревания [2, 8]. Так, например, аэровизуальные оценки состояния посевов успешно применялись в Молдавии. Эти работы были основаны на качественной оценке таких параметров состояния посевов, как изреженность и ПП. Под изреженностью посева подразумевают отношение нерегулярных просветов почвы к площади поля, выраженное в процентах. Данный признак относится к негативным явлениям, возникающим при нарушении правил агротехники, повреждении вредителями и болезнями или действии неблагоприятных климатических условий. ПП — это вертикальная проекция надземных органов растений на почву, также выраженная в процентах. Этот признак, в отличие от понятия об изреженности, указывает на регулярные просветы почвы в рядах и междурядьях и характеризует фенологическую фазу развития растений и степень развития листового аппарата, которая тесно связана с конечной продуктивностью

Таблица 1. Аэровизуальная оценка состояния посевов кукурузы (для периода развития «выметывание метелки»)

Оценка	ПП, %	Площадь листьев, 10 ³ м ² /га
Отлично	25—30	3.0—3.5
Хорошо	17—24	2.0—2.5
Удовлетворительно	12—16	1.3—1.7
Плохо	10—12	0.9—1.2
Очень плохо	8—10	0.5—0.8

посева. Оценки состояния посевов кукурузы, каждому из которых соответствует определенное значение ПП и площади листьев, приведены в табл. 1, взятой из работы [2].

Аэровизуальные методы оценки состояния сельскохозяйственных угодий имеют вполне самостоятельное значение, однако, в силу своей дороговизны, субъективности и низкой точности, они не могут быть использованы для мониторинговых работ и для решения задач прогностического характера.

В настоящее время более широко используются инструментальные дистанционные методы получения информации о растительном покрове, подавляющее большинство которых основано на регистрации изменений параметров электромагнитного излучения, возникающих при его взаимодействии с растительным покровом.

Большинство сенсорных систем, применяющихся для дистанционного зондирования растительного покрова измеряют и регистрируют интенсивность и частоту отраженного от подстилающей поверхности электромагнитного излучения. Зарегистрированный частотный спектр объекта затем сравнивается со стандартными спектрами (или спектрами определенных объектов), что позволяет решать задачи идентификации и классификации объектов подстилающей поверхности.

В зависимости от способа базирования сенсорных систем дистанционные методы оценки состояния растительного покрова делятся на:

- наземные;
- авиационные (приземные и высотные);
- космические.

Наземное спектрометрирование растительности проводится оператором с помощью ручных (переносных) приборов или с использованием автономной стационарной аппаратуры со специальных площадок (треног, вышек, выносных кранов и т. п.). Такие работы в основном носят исследовательский характер и, в силу невысокой степени осреднения получаемой информации, почти не используются для решения практических задач оценки состояния

сельскохозяйственных угодий. Однако как вспомогательные (заверочные) измерения такие методы довольно широко применяются при разработке методик тематической интерпретации результатов авиационных и космических съемок. В последние годы в связи с развитием таких новых технологий, как, например, прецизионное сельское хозяйство, спектральные приборы (датчики) зачастую устанавливают непосредственно на сельскохозяйственном оборудовании. Это позволяет в пределах отдельного сельскохозяйственного поля с высокой точностью оценивать влажность растительного покрова, распределение биомассы, места локализации сорной растительности или участки с недостаточным уровнем минерального питания растений.

Авиационные съемки проводятся с борта летательных аппаратов, в качестве которых могут выступать авианосители, специально предназначенные для проведения съемочных работ (Ан-30) или обыкновенные легкомоторные самолеты и вертолеты, оборудованные соответствующей аппаратурой. Реже применяются беспилотные радиоуправляемые летательные аппараты, мотодельтапланы и дирижабли. Однако, несмотря на то, что авиадистанционное зондирование растительности по уровню обзорности значительно превышает наземные методы и может быть использовано в системах мониторинга состояния посевов в масштабах отдельных хозяйств или районов, оно не получило до настоящего времени широкого развития, прежде всего в силу его высокой стоимости и слабого методического обеспечения. Отдельные примеры использования авиадистанционных методов для решения практических задач сельскохозяйственного назначения можно встретить только в США, Австралии, Германии, Великобритании, Японии и Канаде.

В настоящее время основным источником информации о состоянии растительного покрова, являются сенсорные системы космического базирования. При этом наиболее широко используется информация со спутников серий «Landsat», «Spot», NOAA и IRS.

Для обработки и тематической интерпретации получаемой в результате проведения инструментальных съемок информации (панхроматических и спектральных изображений, спектральных распределений яркости растительных объектов и т. д.) в основном применяются методы основанные на:

- классификации объектов на регистрируемых изображениях,
- детекции изменений спектрального отклика растительности во времени,
- использовании концепции вегетационных индексов.

На использовании концепции вегетационных индексов мы остановимся несколько подробнее.

ВЕГЕТАЦИОННЫЕ ИНДЕКСЫ И ИХ ПРИМЕНЕНИЕ

Многофакторность влияния фазы развития и состояния растительного покрова на его отражательную способность обуславливает трудности тематической интерпретации данных дистанционного зондирования агроресурсов. Поэтому многочисленные исследования были направлены на разработку методов анализа, которые были бы чувствительны к специфическим особенностям вегетирующей растительности и малочувствительными к маскирующим эффектам и случайным изменениям [4].

Концепция вегетационных индексов была разработана с целью получения таких параметров растительного покрова, как тип растительности, индекс листовой поверхности (Leaf Area Index — LAI), ПП, высота растений, биомасса, содержание пигментов и т. д. Многочисленные формы получения десятков вегетационных индексов основаны либо на отношениях или на линейных комбинациях сумм и разностей измерений на разных длинах волн, либо на системе ортогональных преобразований. Согласно [7] все эти комбинации в конечном счете основаны на использовании ряда характерных особенностей отражательной способности почв и растительности:

— монотонное возрастание (с увеличением длины волны) отражения почв,

— характерный максимум отражения вегетирующей растительности в области длин волн 0.5—0.6 мкм,

— минимум отражения растительности в области 0.68 мкм, обусловленный главной полосой поглощения хлорофилла,

— вторичный максимум отражения растительности на длинах волн более 0.8 мкм (так называемое «инфракрасное плато отражения»),

— большие значения отражения желтой растительности по сравнению с отражением от почвы и т. д.

Наибольшее распространение при решении практических задач дистанционного зондирования растительного покрова получил вегетационный индекс, названный «нормализованной разностью» (Normalised Difference Vegetation Index — NDVI) вида:

$$NDVI = (R_k - R_{ик}) / (R_k + R_{ик}),$$

где R_k и $R_{ик}$ — отражение от объекта в красной и ИК-области спектра соответственно.

Проведение ортогональных преобразований для четырех каналов сенсора MSS спутника «Landsat-4» привело к разработке целого ряда вегетационных индексов:

— Brightness (индекс яркости почвы) — для приспособления линии регрессии соответствующих наборов данных к условиям почвы без растений:

$$B = 0.332CH_1 + 0.603CH_2 + 0.675CH_3 + 0.262CH_4;$$

— Greenness (фактор зеленого цвета) — для связи полученных почвенных линий регрессии с максимумом спектрального отражения, характерным для зеленой вегетирующей растительности:

$$G = -0.283CH_1 - 0.660CH_2 + 0.577CH_3 + 0.388CH_4;$$

— Yellowness (фактор желтизны) — для диагностики замутнения атмосферы над растительным покровом при анализе спутниковых данных:

$$Y = -0.899CH_1 + 0.428CH_2 + 0.076CH_3 - 0.041CH_4,$$

где CH_1, CH_2, CH_3, CH_4 — величина регистрируемого сигнала отражения в каналах сенсора MSS («Landsat») с первого по четвертый.

Одним из важнейших параметров состояния культурной растительности является содержание пигментов в листьях, которое определяет эффективность использования растениями фотосинтетически активной радиации и, в конечном счете, продуктивность агроценоза. Поэтому в последнее время особое внимание уделяется разработке новых вегетационных индексов для определения не только общего содержания хлорофилла в растениях, но также отдельных его форм, а также каротеноидов. Были предложены простые индексы-отношения названные пигмент-специфическими простыми отношениями (Pigment Specific Simple Ratio — PSSR):

$$PSSR_a = R_{800} / R_{675} \quad (r^2 = 0.9644),$$

$$PSSR_b = R_{800} / R_{650} \quad (r^2 = 0.9639),$$

$$PSSR_c = R_{800} / R_{500} \quad (r^2 = 0.942),$$

а также пигмент-специфические индексы типа нормализованной разности (Pigment Specific Normalised Difference — PSND):

$$PSND_a = (R_{800} - R_{675}) / (R_{800} + R_{675}) \quad (r^2 = 0.9043),$$

$$PSND_b = (R_{800} - R_{650}) / (R_{800} + R_{650}) \quad (r^2 = 0.9514),$$

$$PSND_c = (R_{800} - R_{500}) / (R_{800} + R_{500}) \quad (r^2 = 0.9036),$$

где R — величина отражения на соответствующей длине волны [9, 10], индекс (a, b, c) указывает на определение хлорофилла—а, хлорофилла—б и каротеноидов, соответственно, а r^2 — коэффициент детерминации.

Развитие указанной концепции вегетационных индексов на любое число спектральных каналов позволило усовершенствовать процедуру мульти-спектральных измерений для оценки состояния почвенно-растительного покрова. В частности, линейная комбинация шести каналов сенсора ТМ спутника «Landsat» в видимой области спектра оказалась более чувствительной к вегетирующей растительности, чем данные сенсора MSS, сенсора HRV спутника «Spot» и сканирующих радиометров AVHRR спутников серии NOAA.

МЕЖДУНАРОДНЫЕ ПРОЕКТЫ MARS И MERA

В 1988 г. в странах Европейского Сообщества был начат проект, получивший название MARS (Monitoring of Agriculture with Remote Sensing). Основными заказчиками и потребителями конечной продукции этого проекта выступали Головное управление сельского хозяйства Европейской комиссии (European Commission Directorate General for Agriculture — DG VI) и Европейское статистическое бюро (EUROSTAT). В выполнение этого проекта были вовлечены около 100 различных организаций из стран-участников ЕС. Блок работ по мониторингу состояния сельскохозяйственных угодий и раннему прогнозированию урожайности основных культур выполнялся Объединенным исследовательским центром, расположенным в итальянском городе Испра (Joint Research Center, Ispra).

Исследовательские работы в рамках проекта MARS проводились в пяти направлениях [13]:

- региональные оценки (определение площадей, занятых различными с/х культурами с помощью спутниковых снимков высокого пространственного разрешения — «Spot-HVR» и «Landsat-TM»),
- быстрая сравнительная оценка в общеевропейском масштабе площадей занятых основными культурами (по сравнению с предыдущими годами),
- разработка экспериментальной сельскохозяйственной информационной системы (Advanced Agricultural Information System), которая сочетает использование спутниковых снимков низкого пространственного разрешения (NOAA-AVHRR) с агрометеорологическими моделями развития посевов, такими как CGMS (Crop Growth Monitoring System),
- оценка урожайности с/х культур в сопредельных странах,
- разработка новых технологий и методов тематической интерпретации спутниковых мультиспектральных снимков, а также оценка пригодности данных новых поколений сенсорных систем (радарные снимки) для целей мониторинга сельскохозяйственных ресурсов.

На рис. 2 и 3 приводятся результаты сопоставления результатов по определению площадей и оценке урожайности озимой пшеницы в Венгрии.

Успешное выполнение работ по проекту MARS способствовало тому, что было принято решение о продолжении этого проекта, получившего новое название MERA (MARS and Environmental Related Applications). Финансирование нового проекта осуществлялось в рамках программы PHARE — инициативы ЕС по поддержке новых демократических государств. Проект MERA осуществляется в несколько этапов. Так, первый этап, названный MERA-92, выполнялся в шести странах (табл. 2).

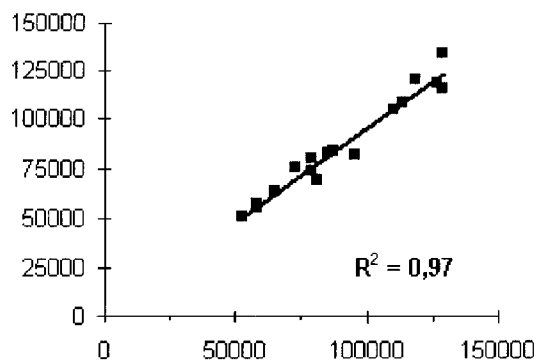


Рис. 2. Сравнение площадей (га) под озимой пшеницей в Венгрии по данным Комитета статистики (Y) и спектрональных съемок (X) в рамках программы MARS [11]

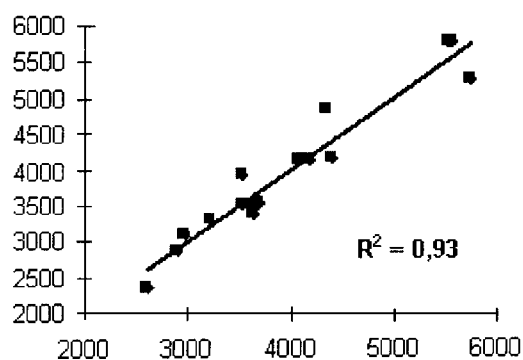


Рис. 3. Сравнение урожайности (кг/га) озимой пшеницы в Венгрии по данным Комитета статистики (Y) и спектрональных съемок (X) в рамках программы MARS [11]

Таблица 2. Страны-участники проекта MERA-92

Страна	Обслед. площадь, км ² ; (%)	Кол-во обслед. сегментов
Польша	29161; (9.3)	227
Венгрия	21711; (23.3)	491
Болгария	23865; (21.5)	350
Румыния	41828; (7.5)	239
Чехия	78846; (100)	806
Словакия	6760; (13.8)	189

Основные работы по проекту MERA-92 проводились в четырех направлениях [14]:

- региональные оценки, основанные на методике площадной выборки (Area Frame Sampling Techniques),
- агрометеорологическое моделирование, оценка состояния посевов и прогноз урожайности основных культур,
- картирование и мониторинг лесных экосистем,
- картирование и мониторинг эрозии/деградации почв.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ДАННЫХ ДЗЗ ДЛЯ ОЦЕНКИ АГРОРЕСУРСОВ В США

Одним из крупнейших в США пользователей данных ДЗЗ является Совет по наблюдению за мировыми агресурсами (The World Agricultural Outlook Board — WAOB). Этот Совет планирует и координирует всю деятельность в области дистанционного зондирования для Департамента сельского хозяйства США (United States Department of Agriculture — USDA). Подразделения USDA используют данные дистанционного зондирования для оценки состояния сельскохозяйственных угодий, мониторинга, управления и администрирования природными ресурсами, а также для проведения исследований в области дистанционного зондирования. Кроме того, через свое подразделение — Национальную службу сельскохозяйственной статистики (National Agricultural Statistics Service — NASS) USDA предоставляет пользователям агро-статистическую информацию. NASS проводит обследования по оценке продуктивности основных культур в США и предоставляет пользователям информацию об уровне производства, затратах и доходности сельскохозяйственных предприятий. Государственные, федеральные и местные органы власти используют эту информацию для формирования общественной политики и законодательной базы в целях контроля за производством, хранением и потреблением сельскохозяйственной продукции.

Каждые две недели специалисты NASS получают от Национальной администрации по изучению океана и атмосферы (National Oceanic and Atmospheric Administration — NOAA) данные спутниковых съемок. Для оценки состояния посевов космические снимки спутников NOAA обрабатываются Геологической службой США (United States Geological Survey — USGS) путем расчета вегетационных индексов, характеризующих жизнестойкость посевов. Специалисты NASS проводят сравнение данных текущего года с соответствующими вегетационными индексами предыдущих лет. Эти сравнения носят исключительно качественный характер, поскольку технология перевода используемых индексов в количественные характеристики сельскохозяйственных угодий до сих пор не доведена до уровня практического использования.

В США также создана специальная служба, которая занимается сбором и предоставлением статистической информации о состоянии и урожайности сельскохозяйственных культур во всех странах мира (Foreign Agricultural Service — FAS). FAS анализирует ежегодно около 10 000 мультиспектральных спутниковых изображений. При этом используются специально разработанные прогностические модели

с использованием спутниковой информации и гидрометеорологических данных для прогноза урожая, определения фазы развития растений, влажности почвы и оценки погибших после перезимовки.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Если проанализировать уровень развития технологий ДЗЗ и состояние их практического применения в Украине (не только для оценки состояния растительного покрова), то можно сделать несколько выводов. Основными проблемами на наш взгляд являются следующие:

- отсутствие стабильной финансовой поддержки исследований в области ДЗЗ, вследствие чего практически не ведутся работы по методическому обеспечению использования данных ДЗЗ в народно-хозяйственных целях;

- недостаточный уровень популяризации дистанционных технологий и дороговизна конечных продуктов, что сдерживает развитие рынка потребителей и рынка услуг;

- отсутствие государственной системы подготовки высококвалифицированных специалистов в области фотограмметрии, дистанционного зондирования и ГИС-анализа;

- существующие в настоящее время ограничения на использование данных ДЗЗ связанные с режимом секретности.

Анализ современной литературы позволяет сформулировать важнейшие факторы, которые в настоящее время определяют развитие аэрокосмических методов мониторинга растительного покрова. Прежде всего, к ним относится следующее:

- интенсивное развитие материально-технической базы для проведения таких работ: (создание нового поколения сенсорных систем авиационного и космического базирования, таких как гиперспектральные сенсорные системы, видеоспектрометрические системы, лазерные лидарные системы, всепогодные радарные системы),

- появление новых спутниковых систем, в том числе высокого пространственного разрешения («Landsat-7», «Spot-5», IRS, «Ikonos», «QuickBird»),

- развитие широкой сети государственных и коммерческих организаций и компаний (в том числе частных), которые не только предоставляют материалы аэрокосмических съемок, но также оказывают услуги по их обработке и тематической интерпретации для нужд конкретного пользователя,

- все более широкое внедрение в повседневную практику таких передовых технологий как использование систем глобального позиционирования (GPS), географических информационных систем

(GIS), современные информационные технологии (Internet-системы доступа к удаленным базам данных),

— активная кооперация в рамках целого ряда международных программ, финансируемых как Европейским Союзом, так и Международным Содружеством.

Для ознакомления с деятельностью ряда международных организаций и компаний, работающих в области применения данных аэрокосмического зондирования для решения задач оценки состояния сельскохозяйственных угодий рекомендуется посетить следующие сайты:

<http://www.amesremote.com>

<http://www.geosys-intl.com>

<http://www.pcigeomatics.com>

<http://www.modernag.com>

<http://www.possys.com>

<http://verde.dtn.com>

1. Брандт А. Б., Тагеева С. В. Оптические параметры растительных организмов. — М.: Наука, 1967.—301 с.
2. Войнов О. А., Бех Л. Т. Аэровизуальная оценка состояния и продуктивности посевов озимой пшеницы и кукурузы // Применение методов дистанционной диагностики в сельском хозяйстве. — Киев: Наук. думка, 1989.—С. 90—92.
3. Клешнин А. Ф. Растение и свет. — М.: Изд-во АН СССР, 1954.—456 с.
4. Кондратьев К. Я., Козодеров В. В., Федченко П. П. Аэрокосмические исследования почв и растительности. — Л.: Гидрометеиздат, 1986.—229 с.
5. Кондратьев К. Я., Федченко П. П. Спектральная отражательная способность и распознавание растительности. — Л.: Гидрометеиздат, 1982.—216 с.
6. Кочубей С. М., Кобец Н. Н., Шадчина Т. М. Спектральные свойства растений как основа методов дистанционной диагностики. — Киев: Наук. думка, 1990.—135 с.
7. Рачкулик В. И., Ситникова М. В. Методологические и экспериментальные основы использования оптических свойств почвенно-растительных объектов при определении параметров растительности // Применение методов дистанционной диагностики в сельском хозяйстве. — Киев: Наук. думка, 1989.—С. 33—40.
8. Руководство по проведению визуальных авиамаршрутных агрометеорологических обследований. — М.: Гидрометеиздат, 1971.—103 с.
9. Blackburn G. A. Evaluating spectral indices for tracking phenological changes in canopy pigment composition // Proc. of 23rd Annual Conf. Remote Sensing Society, 2—4 September 1997. — UK: Reading, 1997.—P. 94—99.
10. Chappelle E. W., Kim M. S., McMurtrey J. E. Ratio analysis of reflectance spectra: an algorithm for the remote estimation of the concentration of chlorophyll A, B and carotenoids in soybean leaves // Remote Sensing of Environment.—1992.—39.—P. 239—247.
11. Csornai G., dr. Dalia O., Farkasfaly J., N6dor G. Crop Inventory Studies Using Landsat Data on Large Area in Hungary // Appl. Remote Sensing Agriculture. — Butterworths, 1990.—P. 159—165.
12. Gates D. M., Keegan H. J., Schleter J. S., Weidner V. R. Spectral properties of plants // Appl. Opt.—1965.—4, N 1.—P. 11—20.
13. Joint Research Centre, The MARS Project: Overview and Perspectives, 1994, EUR 15599, EN, Luxemburg.
14. MERA National Focal Points, 1995, MERA-92 Project Interim and Final Reports. (4 activities), Warsaw, Sofia, Prague, Bratislava, Bucharest, Budapest.
15. Vogelmann J. E., Rock B. N., Moss D. M. Red edge spectral characterization of phenological change and insect related damage in sugar maple leaves // Internat. J. Remote Sensing.—1993.—14.—P. 1563—1575.
16. Wooley J. T. Reflectance and transmittance of light by leaves // Plant. Physiology.—1971.—47, N 5.—P. 656—662.