

УДК (528.88:681.518):504.064.3:(630*221+630*4):[621.311:621.039.5](477.41)

**ОПЫТ КОМПЛЕКСНОГО ПРИМЕНЕНИЯ СРЕДСТВ ДИСТАНЦИОННОГО
ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ И ГИС-ТЕХНОЛОГИЙ С ЦЕЛЬЮ ОЦЕНКИ
ФИТОСАНИТАРНОГО СОСТОЯНИЯ ЛЕСНЫХ МАССИВОВ ЗОНЫ
ОТЧУЖДЕНИЯ ЧАЭС**

Лялько В.И., Азимов А.Т., Сахацкий А.И., Ходоровский А.Я.

*Научный центр аэрокосмических исследований Земли ИГН НАН Украины, Киев
E-mail: casre@casre.kiev.ua, azimov@casre.kiev.ua, sakhatsky@casre.kiev.ua, artur@casre.kiev.ua*

В статье описаны результаты исследований фитосанитарного состояния растительности Чернобыльской зоны отчуждения на основе использования ДЗЗ/ГИС-технологий: определены спектральные характеристики пораженной растительности, классифицирован растительный покров, оценено его фитосанитарное состояние.

Ключевые слова: космические снимки, зона отчуждения ЧАЭС, лес, фитосанитарное состояние

ВВЕДЕНИЕ

Леса занимают более 50% территории зоны отчуждения и зоны безусловного (обязательного) отселения (ЗО) Чернобыльской АЭС. Преобладают сосновые леса, которые достаточно часто чередуются с лиственными и смешанными, поэтому общая картина распределения лесов по составу достаточно пестрая.

Специфика лесов Зоны заключается в том, что приблизительно 60% из них представлены монокультурой сосны обычной чрезмерно упрощенной структуры, образованной в послевоенные годы на залежных землях и лугах. Состав насаждений не всегда соответствует лесорастительным условиям. Технология выращивания таких фитоценозов предполагает интенсивный режим ухода. Необходимо периодически проводить прореживание, поскольку природный отпад не обеспечивает динамики оптимальной густоты.

Отсутствие ухода за лесами на протяжении достаточно длительного времени после аварии на ЧАЭС привела к тому, что большая часть древостоев характеризуется неудовлетворительным состоянием. Так, 56% лесов имеют повреждения. При этом наиболее неблагоприятным в лесопатологическом отношении типом древостоев являются сосновые культуры, которые созданы большими однородными массивами. Среди насаждений сосны повреждено 63%, в том числе 23% – со средней степенью повреждения.

Как и раньше, на что указывает анализ данных лесоустроительных отчетов прошлых лет, наибольших убытков лесному хозяйству наносят сосновый шелкопряд (*Dendrolimus pini L.*), пыльщики и корневая губка (*Fomitopsis annosa*

(Fr.), *Bond et Sing (Fomes annosum)*, очаги развития которых являются постоянно действующим фактором в лесах Зоны. В отдельные годы их распространение имеет широкомасштабный характер, в иные – локальный. Имеют место эпизодически и постоянно действующие очаги. Так, вспышки массового размножения соснового шелкопряда и шелкопряда-монашки в ЗО наблюдаются регулярно каждые 11–14 лет.

Значительную опасность для сосновых лесов Зоны составляет поражение их корневой губкой. Например, площадь очагов усыхания сосняков от корневой губки в доаварийный период оценивалась в 4000 га. После аварии наблюдается дальнейший рост ранее существующих очагов и появление новых. Однако говорить об увеличении общей площади усыхания преждевременно, поскольку очень много пораженных древостоев на данный момент перешли в категорию горельников.

Наблюдения показывают, что очаги корневой губки обычно возникают в искусственных насаждениях, созданных в нарушенных местопроизрастаниях, часто на старопахотных землях. В 1998 году этой болезнью в Зоне было поражено 20% площади, которая занята сосновыми культурами, искусственно созданными на старопахотных грунтах [2].

Таким образом, в сосновых лесах накопилось до 15% сухостоя по массе, большая часть которого находится на корню. Накопление значительных объемов сухостоя вследствие поражения вредителями увеличивает вероятность возникновения пожаров, которые осложняют экологическую и радиоэкологическую обстановку в ЗО и за ее пределами, вызывая повторное загрязнение территории вследствие воздушного переноса продуктов горения. При лесных пожарах концентрации радионуклидов могут возрасти более, чем в 5 раз даже на расстоянии 5–6 км от места горения, а непосредственно вблизи его фронта достигать критических значений. Лесные пожары являются основным фактором, который может значительно интенсифицировать миграционные процессы. Ведь после верхового пожара в минеральную часть грунта переходит 60–80% радиоцезия, в то время как в нормальных условиях эта величина составляет 20–40%.

Состояние лиственных насаждений более удовлетворительное, но и в этих лесах имеют место повреждения. Наилучшее состояние у березы повислой, ольха черная занимает среднее положение, а наихудшее состояние имеют осина дрожащая и дуб черешчатый (повреждено, соответственно, 58 и 68% этих древостоев) [1, 2, 8].

При таких условиях контроль состояния лесных массивов зоны отчуждения, его изменения во времени и пространстве имеет исключительное значение в связи с тем, что леса как преобладающий компонент ландшафта, являются эффективным биогеохимическим барьером на пути выноса радионуклидов за пределы их первоначального выпадения. Таким образом, возникла острая необходимость разработки и реализации специализированной системы ухода за лесными массивами, которая, минимизируя пребывание человека в условиях повышенной

радиационной нагрузки, обеспечила бы поддержание их стойкости и повышение защитных функций. Весомую роль в решении этой проблемы могут сыграть дистанционные аэрокосмические методы.

МЕТОДИКА И РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

С целью контроля состояния лесных массивов в пределах ЗО Центром аэрокосмических исследований Земли ИГН НАН Украины в 1998-2002 годах проведены комплексные дистанционные исследования древостоев района работ [3–7, 9 и др.]. Так, наиболее детально были изучены центральная, южная, северная и западная части Зоны и окружающие их участки общей площадью приблизительно 1400 км², которые территориально приурочены к Денисовицкому, Дитятковскому, Лубянскому, Корогодскому, Лелевскому, Опачицкому (частично), Россохскому, Старошепелицкому и Яковецкому лесным отделениям Государственного специализированного производственного комплексного лесного предприятия (ГСПКЛП) «Чернобыльлес».

Работы базировались на использовании многозональных цифровых космических снимков высокого пространственного разрешения, которые получены со спутников «SPOT» (Франция) и «Океан-О» (Украина-Россия). Их использование для изучения характерных особенностей растительного покрова основывается на анализе соотношений поглощенной, отраженной и пропущенной растениями световой энергии. Спектры отражения в разных диапазонах электромагнитных волн несут принципиально различную информацию о физиологическом состоянии растительности (содержание хлорофилла, строение листьев, количество воды в растениях и т. п.) и условий их произрастания (степень увлажнения и трофотоп корнеобитаемого слоя почвы, уровень залегания грунтовых вод, загрязнение токсикантами и пр.).

В качестве базового был использован многозональный космический снимок SPOT-XI, который сделан 14.07.1998 г. с космического аппарата SPOT-4. Это снимок высокого пространственного разрешения (20 м в пикселе для зональных, 10 м – для панхроматического снимка) в четырех спектральных каналах: зеленом с длиной электромагнитных волн в диапазоне 500–590 нм, красном – 610–680 нм, ближнем инфракрасном (БИК-) – 790–890 нм и среднем инфракрасном (СИК-) – 1580–1750 нм.

Программный продукт ERDAS Imagine для рабочих станций позволил методом дистанционной фитоиндикации по принципу распознавания образов, используя космическое изображение, провести классификацию растительности Зоны по типу растительных сообществ с обучением разными методами: минимального расстояния (minimum distance), расстояния Махаланобиса (Mahalanobis distance) и максимальной вероятности (maximum likelihood).

Выбор тестовых участков для калибровки дистанционных данных, общее количество которых в границах зоны отчуждения составило 438 (в том числе 48 тест-участков с неблагоприятным фитосанитарным состоянием леса), определение в их пределах характерных спектральных яркостей растительных ассоциаций проводился по таксационным материалам лесоустройства 1996 года с актуализацией информации на современный период вследствие полевого обследования в натуре. Тестовые участки определялись по следующим критериям (Рис. 1):

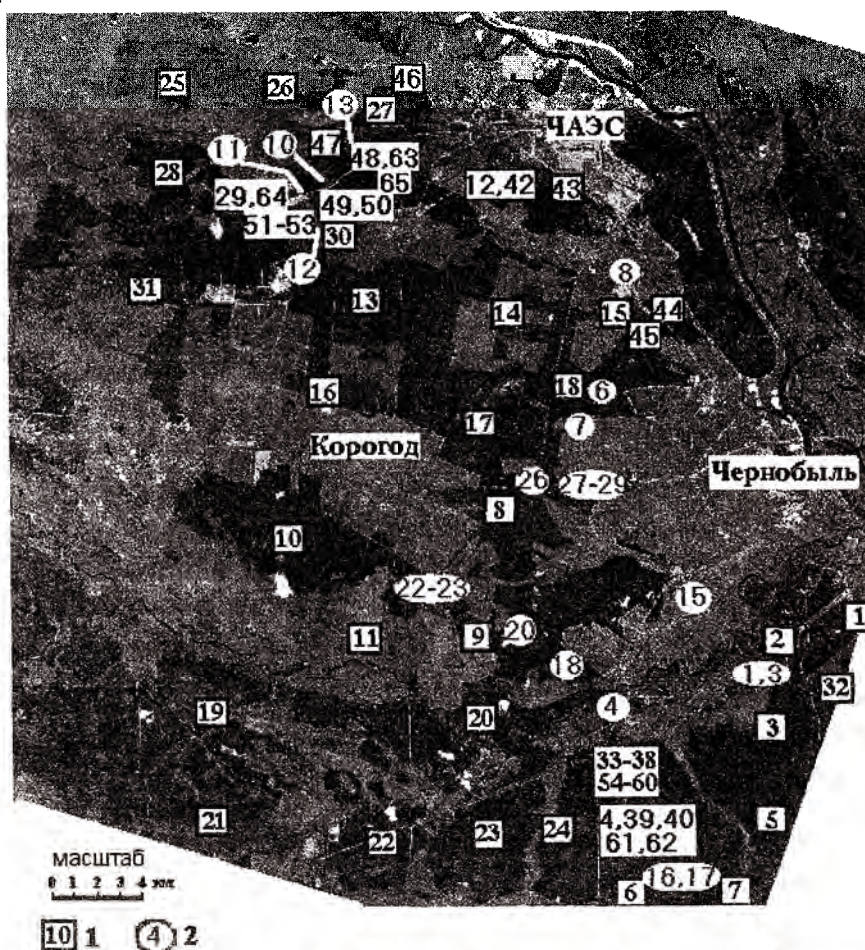


Рис. 1. Фрагмент схемы фактического материала (составлен с использованием многозонального космического снимка со спутника SPOT-4, 14.07.1998 г.)

1 – расположение тест-участков, которые использовались для “обучения” при классификации с помощью программного продукта ERDAS Imagine (цифры соответствуют порядковым номерам тест-участков), 2 – расположение контрольных точек и их номера

- равномерно расположены по всей площади исследований;
- репрезентативно характеризуют породный, типологический и возрастной состав лесов ЗО;
- дают возможность идентифицировать участки чистых и смешанных древостоев в пределах лесных массивов;
- характеризуют увлажнение почвы (гигротоп) и содержание питательных веществ (трофотоп);
- отображают особенности санитарного состояния, которое сложилось в лесах Зоны на данное время.

Программный продукт MapInfo, который использовался в качестве географической информационной системы (ГИС) для накопления и обработки первичных данных и представления полученных результатов в графической форме, давал возможность обмена данными с ERDAS Imagine.

Выбор в качестве ГИС программного продукта MapInfo обусловлен двумя главными факторами. Во-первых, это современная комплексная ГИС, которая достаточно полно соответствует решению поставленных заданий. Во-вторых, ГИС MapInfo применяется сотрудниками предприятий ЗО, которые непосредственно используют результаты проводимых нами исследований в своей текущей работе и первичными данными которых пользуемся мы в собственных изысканиях. Указанная ГИС удачно решает проблему совмещения растровой и комбинаций векторной информации, а также редактирования готовых и создания новых основных и вспомогательных слоев цифровых карт и схем.

Таким образом, исходные сигнатуры отдельных классов объектов были созданы на основе наземных данных на тест-участках. Для установления точного расположения участков проводилась векторизация отдельных лесных кварталов и выделов с помощью ГИС MapInfo. С этой целью проводилось сканирование схем лесничеств с дальнейшей точной координатной привязкой сканированных изображений. Затем, используя программу MapInfo, создавались векторные изображения необходимых кварталов и выделов в системе координат Гаусса-Крюгера (1942 г.). Эти векторные изображения совмещались с космическими снимками с помощью программы ERDAS Imagine. В результате обеспечивалось сопоставление данных спутника с лесотехническим описанием отдельных участков.

Все первичные данные сводились в таблицу, которая содержит информацию о прямоугольных координатах каждого исследуемого объекта, модальные значения спектральных яркостей в разных каналах космоснимков, разные вегетационные индексы, параметры растительности (возраст, запасы и пр.).

Таким образом, в результате были созданы сигнатуры 25 классов лесной растительности и природных объектов, проведена оценка сигнатур этих классов с

целью прогнозирования надежности классификации в зависимости от метода, по которому она выполнялась. Было установлено, что результаты классификации по методу максимальной вероятности (Рис. 2) характеризуются большей достоверностью применительно к ландшафтным условиям ЗО, чем по другим методам (минимального расстояния, расстояния Махалонобиса). Метод максимальной вероятности дает значительно больший процент попадания пикселей сигнатур в свой класс, чем другие методы. Эти предварительные данные подтвердились конечной оценкой результатов классификации по контрольным точкам, которые имели надежную наземную заверку. Интересно, что по данным других исследователей при классификации лесной растительности разных регионов метод максимальной вероятности показал также удовлетворительные результаты [10, 11 и др.].

Важным результатом исследований является то, что удалось выявить влияние вышеуказанных негативных факторов фитосанитарного состояния лесов на изменение интенсивности спектральных яркостей растительности (Табл. 1). Наиболее четко проявилось влияние соснового шелкопряда, которое привело к повышению спектральных яркостей в зеленой, красной и СИК-зонах спектра электромагнитных волн и уменьшению их в БИК-зоне. По степени отличия спектральных яркостей здоровых и поврежденных сосновым шелкопрядом лесов последние были разделены на три группы: со слабой (или начальной), средней и высокой степенью повреждения.

Влияние корневой губки на оптические свойства сосновых древостоев подобно влиянию соснового шелкопряда, но менее четко выражено. Оказалось, что оптические свойства сосны, поврежденной корневой губкой, и сосны, слабо поврежденной сосновым шелкопрядом, очень близки.

Влияние подтопления на оптические свойства сосны менее интенсивно по сравнению с влиянием повреждения сосны шелкопрядом или корневой губкой. Кроме того, оно отличается по характеру изменений спектральных яркостей в различных каналах космических снимков. В зеленой и красной зонах спектра сосновые леса на подтопленных землях имеют более низкие значения спектральных яркостей, чем аналогичные древостои на территориях, которые не подтапливаются, тогда как в БИК- и СИК-зонах – более высокие. Эти изменения оптических свойств растительности можно интерпретировать как слабое увеличение содержания хлорофилла в иглах и заметное увеличение количества сухостоя. Однако это лишь предположение, которое необходимо проверять дальнейшими исследованиями.

Влияние подтопления на оптические свойства лиственных лесов очень слабое. Это и не удивительно. Ведь большинство древостоев лиственных пород (исключая дуб) растет на территориях с повышенной влажностью.

Не удалось зафиксировать влияние осинового трутовика на спектральные яркости осиновых лесов. Это, прежде всего, вызвано тем, что на территории ЗО нет чисто осиновых древостоев, поврежденных осиновым трутовиком. Все известные участки повреждения осиновым трутовиком зафиксированы в смешанных лиственных лесах, где осина занимает подчиненное положение. В будущем эту проблему следует решать на основе моделирования спектральных свойств смешанных пород.

Также не удалось выявить влияние березовой губки на спектральные свойства березы. Это связано с тем, что известно очень мало точек, где зафиксирована эта болезнь.

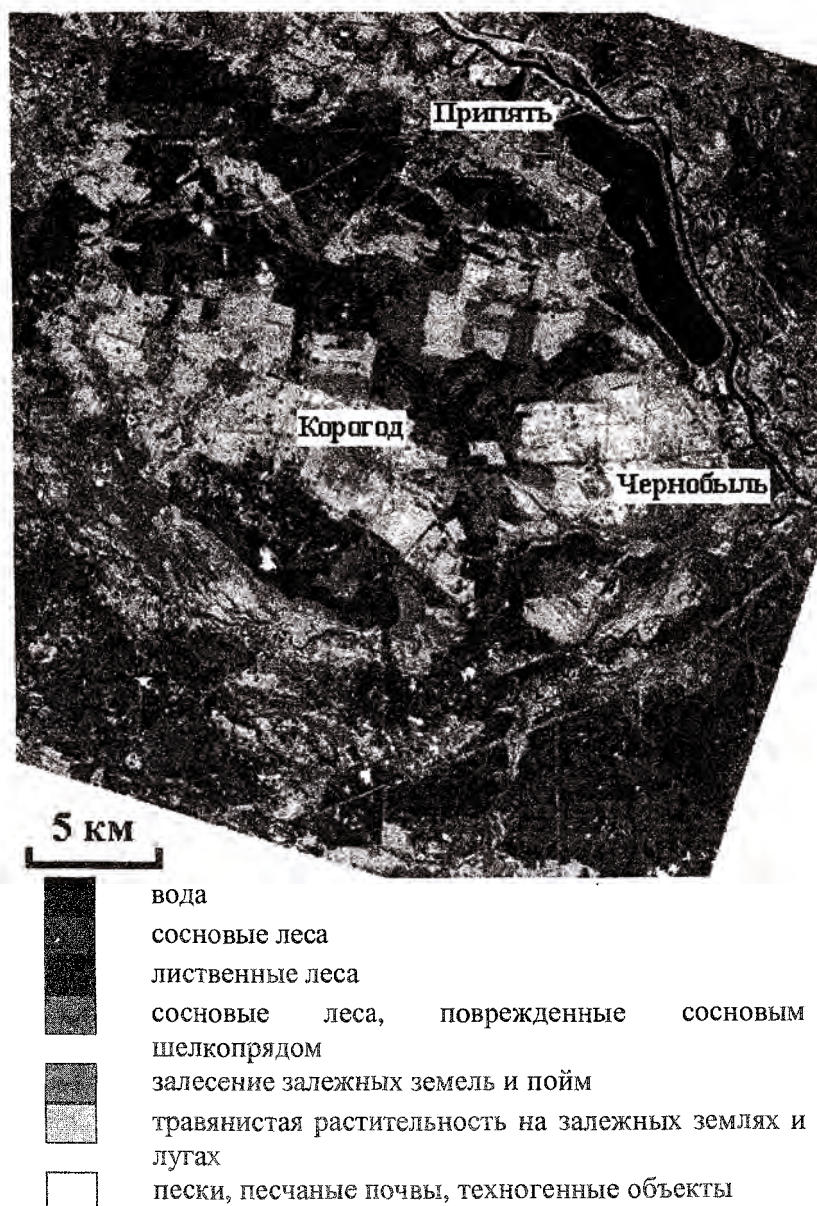


Рис. 2. Упрощенная схема площадного распространения лесных массивов центральной части зоны отчуждения ЧАЭС, классифицированных по типам растительных сообществ (составлена по данным многозонального космического снимка со спутника SPOT-4 (14.07.1998 г.) с использованием программного продукта ERDAS Imagine, метод максимальной вероятности)

Таблица 1

Статистические характеристики распределения спектральных яркостей для выделенных классов растительности (по данным космического снимка SPOT-XI, 14.07.1998 г.)

Краткое название класса	Спектральные диапазоны							
	Зеленый		Красный		БИК-		СИК-	
	Сред.*	Станд.**	Сред.	Станд.	Сред.	Станд.	Сред.	Станд.
Сосна	54,33	1,48	38,86	2,02	68,10	8,10	51,67	4,79
Молодая сосна	57,33	2,16	43,22	3,10	69,37	6,30	53,88	6,25
Посадки сосны	64,16	1,46	49,60	1,87	97,29	3,24	83,90	7,01
Сосна, в неблагоприятных условиях	55,38	3,27	41,63	4,56	59,84	8,41	54,35	9,36
Сосна, поврежденная шелкопрядом	58,62	1,78	48,49	2,65	49,93	5,06	69,17	6,73
Сосна, поврежденная корневой губкой	56,36	2,01	42,75	3,58	59,98	8,05	56,12	6,02
Сосна, смена гидрологического режима	53,49	1,47	36,54	2,27	79,97	13,01	56,83	4,40
Ольха	54,54	1,16	35,53	1,04	129,55	5,80	74,58	2,67
Береза	52,12	1,28	35,07	1,16	103,58	9,17	65,05	4,52
Молодая береза	52,83	1,88	35,75	2,45	107,87	7,91	67,04	4,14
Дуб	53,95	1,50	35,71	1,27	101,01	9,71	70,16	5,26
Сады, акация	56,89	1,51	38,52	1,31	134,41	6,98	70,34	3,78
Смешанные лиственные леса	53,83	1,60	35,53	1,49	111,14	9,65	68,64	5,02
Смешанные сосновые леса	52,53	1,36	35,33	1,42	101,83	13,45	63,24	6,45
Залежи	68,32	1,72	59,18	3,24	86,30	7,02	104,56	4,84
Растительность лугов	67,49	3,14	59,68	4,65	80,51	9,50	99,65	5,40
Залесение лиственными	64,93	2,09	48,96	2,53	119,97	13,60	93,01	4,38
Обновление сосны, слабое	66,57	2,99	56,81	4,21	81,17	9,58	94,30	6,21
Горельники	67,57	2,16	60,59	3,28	58,86	7,29	98,73	3,89
Вода	57,95	3,99	44,23	4,28	19,78	4,24	22,18	3,40
Песок	159,03	37,47	179,74	49,58	119,52	27,50	185,86	32,91
Облака	200,07	46,85	198,76	50,47	154,33	28,95	158,05	36,11
Тени от облаков	45,72	2,11	28,71	2,27	28,35	6,02	19,61	4,01
Дороги	88,71	12,49	81,56	15,72	84,24	11,93	86,52	9,14
Техногенные объекты	103,34	17,09	105,96	21,04	63,68	12,44	93,59	18,64

Примечание: * – среднее значение, ** – стандартное отклонение; условные единицы спектральной яркости космоснимка указаны в градациях от 0 до 255.

Таким образом, проведенные исследования позволяют говорить о том, что болезни и неблагоприятные условия имеют влияние на оптические свойства сосновых лесов, что можно зафиксировать по данным многозональной космической съемки.

Действительно, на схеме классификации растительности (Рис. 3) уверенно выделились леса, поврежденные гусеницей соснового шелкопряда и корневой губкой, подтопленные древостои. В частности, в пределах детально изученного района подтопленные сосновые леса, площадь которых составляет 71 км², широко распространены на западе и севере Зоны. Они часто граничат с лиственными древостоями, которые обычно растут во влажных условиях. Можно предположить, что зафиксированные изменения спектральных свойств сосны связаны не только с подтоплением, но и с произрастанием ее на заболоченных территориях. Однозначный ответ на этот вопрос позволит получить использование космических снимков, сделанных в период до аварии на ЧАЭС или в первые годы после нее.

Сосновые древостои, поврежденные корневой губкой, судя по материалам классификации, образуют отдельные, небольшие по площади поля. Обращает на себя внимание тесная пространственная связь наибольших по площади участков сосны, поврежденных этой болезнью, с древостоями с начальной стадией повреждения сосновым шелкопрядом. Это вытекает из того, что у них близкие значения спектральных яркостей (Табл. 1). Исходя из общности пространственного развития этих заболеваний в пределах лесных массивов, можно предположить, что сосновый шелкопряд поражает прежде всего леса, которые были ослаблены корневой губкой.

Учитывая важность картирования древостоев, поврежденных сосновым шелкопрядом, была составлена схема фитосанитарного состояния сосновых лесов на правом берегу р. Припять, в центральной части зоны отчуждения. Здесь участки поврежденного леса, по данным наземных обследований, приобрели особо широкое распространение (Рис. 3). Схема составлена с использованием значений спектральных яркостей растительности и вегетационных индексов: общепринятого индекса NDVI и аналогичного ему индекса I, который учитывает соотношение между спектральными яркостями в зеленой (Gr) и СИК- (IR) зонах спектра:

$$I = (IR_{1530-1750} - GR_{500-590}) / (IR_{1530-1750} + GR_{500-590}) \quad (1)$$

На построенной схеме среди массивов соснового леса, которые наиболее широко распространены на территории исследований, выделяются участки с различной степенью повреждения вредителями, общая площадь которых в пределах центральной и северной частей Зоны составляет около 86 км². Проведенная площадная дифференциация сосновых лесов по степени поврежденности позволила установить участки с максимальной, средней и низкой степенью повреждения сосновым шелкопрядом. Первые из них, занимающие площадь около 9,5 км², представляют собой участки с практически полностью уничтоженным древостоем. Сосновые леса со средней степенью поврежденности охватывают площадь 29,9 км²,

а ослабленные действием различных негативных факторов (вредители, болезни и пр.) – 46,6 км². При этом поврежденные древостои составляют несколько крупных, отделенных друг от друга участков, которые преимущественно размещаются в центральной части ЗО в пределах Лелевского лесного отделения ГСПКЛП «Чернобыльлес». Проверка, которая проводилась в полевых условиях, подтвердила достоверность полученных результатов классификации.

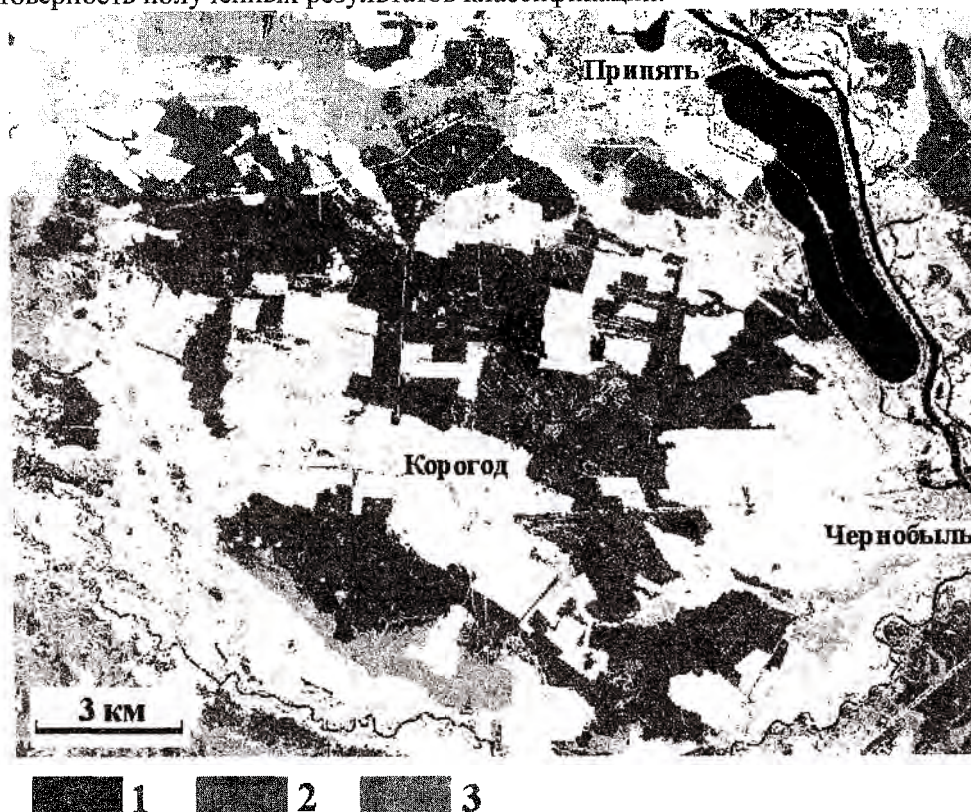


Рис. 3. Схема фитосанитарного состояния лесных массивов центральной части зоны отчуждения ЧАЭС (составлена по данным космоснимка со спутника SPOT-4 (14.07.1998 г.) с использованием программного продукта ERDAS Imagine): 1 – сосновые леса наиболее поврежденные, 2 – сосновые леса со средней степенью повреждения, 3 – сосновые леса, ослабленные действием негативных факторов

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, одним из важнейших результатов выполненных исследований является то, что они позволяют получать детальную картину пространственного распределения разновидностей здоровых и поврежденных лесов в пределах зоны отчуждения ЧАЭС, а также оценить динамику соответствующих изменений и

обоснованно планировать лесотехнические работы и фитосанитарные мероприятия в их пределах.

Результаты исследований на протяжении 1998-2002 гг. внедрены в практической работе ряда предприятий Министерства Украины по вопросам чрезвычайных ситуаций и по делам защиты населения от последствий Чернобыльской катастрофы (МЧС Украины): ГСПКЛП «Чернобыльлес», Государственного предприятия «Чернобыльский научно-технический центр международных исследований», Государственного научно-производственного предприятия «РАДЭК» и Государственного специализированного предприятия «РУООД» и Государственного специализированного научно-производственного предприятия «Экоцентр». Они использовались:

- для проведения весеннего (1999 г.) детального лесопатологического обследования древостоев на предмет выявления хвоелистогрызущих вредителей;
- для определения объемов работ и организации мероприятий по защите лесов Зоны от вредителей и болезней (в том числе по истреблению вредителей) на протяжении 1999 и 2000 гг.;
- для проведения предупредительных противопожарных мероприятий;
- для анализа и упорядочения лесокультурных площадей в 1999-2002 гг.
- для обновления банка цифровых картографических материалов по территории ЗО.

В дальнейшем они будут использоваться:

- для ведения мониторинга леса в пределах ближней зоны ЧАЭС в последующие годы;
- для оценки радиационного состояния воздушного бассейна ближней зоны ЧАЭС в случае пожара;
- для прогнозирования выноса радиоактивности в составе аэрозолей за пределы ближней зоны ЧАЭС;
- при проведении научных исследований и планировании реабилитационных мероприятий в лесах Зоны в текущей работе вышеуказанных и ряда других предприятий МЧС Украины.

Полученный опыт работ по комплексному применению средств дистанционного зондирования Земли и промышленных ГИС-технологий с целью оценки фитосанитарного состояния лесных массивов вполне успешно может применяться в пределах иных залесенных регионов как Украины, так и других стран мира.

Список литературы

1. Берчій В.І., Гаврилей В.Г., Буднік А.В. та ін. Результати 3-х річного моніторингу стану лісів зони відчуження / Тези доп. наук.-практ. конф. «Наука. Чорнобиль-97» (Київ, 11-12 лют. 1998 р.). – К.: УРУЦ, 1998. – С. 39–40.
2. Бунтова О.Г., Кучма М.Д., Зленко М.Г. Оцінка екологічного стану лісових насаджень в Зоні відчуження ЧАЕС / Там само. – С. 97–98.
3. Лялько В.І., Азімов О.Т., Сахацький О.І. та ін. Класифікація лісових масивів території Зони відчуження за типами рослинних угруповань за матеріалами багатозональної космічної зйомки /

- Тези доп. наук.-практ. конф. «Наука. Чернобыль-98» (Київ, 1-2 квіт. 1999 р.). – К.: ЄЦТБ, 1999. – С. 88–89.
4. Лялько В.І., Сахацький О.І., Ходоровський А.Я., Азімов О.Т. Застосування ГІС технологій для вивчення екології лісових масивів за багатозональними космічними знімками (на прикладі Зони відчуження ЧАЕС) / Матеріали конф. «ГІС Форум-99» (Київ, 10-12 листоп. 1999 р.). – К.: ГІС-Асоц. України, 1999. – С. 174–179.
 5. Лялько В.І., Азімов О.Т., Кучма М.Д. та ін. Використання засобів дистанційного зондування Землі і ГІС-технологій з метою оцінки фітосанітарного стану та природної пожежонебезпечності лісових масивів (на прикладі Зони відчуження ЧАЕС) / Матеріали конф. «ГІС Форум-2000» (Київ, 13-16 листоп. 2000 р.). – К.: ГІС-Асоц. України, 2000. – С. 73–80.
 6. Лялько В.І., Азімов О.Т., Сахацький О.І., Ходоровський А.Я. Оцінка фітосанітарного стану лісових масивів на правобережжі р. Прип'ять у Зоні відчуження за матеріалами багатозональної космічної зйомки / Тези доп. міжнар. конф. «П'ятнадцять років Чернобыльської катастрофи. Досвід подолання» (Київ, 18-20 квіт. 2001 р.). – К.: Аг-во «Чернобыльінтерінформ», 2001. – Розд. 2. – С. 137.
 7. Лялько В.І., Азімов А.Т., Сахацький А.І. и др. Использование спутниковых данных и ГИС-технологий для оценки экологического состояния и природной пожароопасности лесов Чернобыльской зоны отчуждения / Учен. записки Таврического нац. ун-та им. В.И. Вернадского. География. – 2006. – Т. 19 (58). – № 1. – С. 105–117.
 8. Музика В.В., Подкур П.П., Савуцик М.П. та ін. Санітарний стан лісів зони безумовного відселення / Тези доп. наук.-практ. конф. «Наука. Чернобыль-97» (Київ, 11-12 лют. 1998 р.). – К.: УРУЦ, 1998. – С. 29–30.
 9. Сахацький О.І., Лялько В.І., Ходоровський А.Я. та ін. Використання багатозональних космічних знімків з метою вивчення рослинності у зоні відчуження ЧАЕС / Нові методи в аерокосмічному землезнавстві. – К.: ЦАКДЗ ІГН НАНУ, 1999. – С. 105–113.
 10. Ardo J., Pilejo. Classifying forest damages in the Czech republic using neural networks, bi-temporal Landsat Thematic Mapper data and topographic data. In: Proceedings of the Workshop on Pollution Monitoring and GIS. Brandys nad Labem, 15-18 May 1995, Czech Republic. – Pp. 115–120.
 11. Reutor M., Akgoz E. Forest condition assessment in the Fichtelgebirge and Erzgebirge using remote sensing and GIS technology / Ibid. – Pp. 137–140.

Лялько В.І., Азімов О.Т., Сахацький О.І., Ходоровський А.Я. Досвід комплексного використання засобів дистанційного зондування Землі та ГІС-технологій з метою оцінки фітосанітарного стану лісових масивів зони відчуження ЧАЕС // Учені записки Таврійського національного університету ім. В. І. Вернадського. – 2007. – Серія «Географія». - Т. 20(59).- № 1. - С. 114-125.

В статті описані результати досліджень фітосанітарного стану рослинності Чернобыльської зони відчуження на підставі використання ДЗЗ/ГІС-технологій: визначені спектральні характеристики враженої рослинності, класифіковано рослинний покрив, оцінено його фітосанітарний стан.

Ключові слова: космічні знімки, зона відчуження ЧАЕС, ліс, фітосанітарний стан

Lyalko V.I., Azimov O.T., Sakhatsky O.I., Hodorovsky A.Ya. Experience of combined application of remote sensing and GIS-technologies tools with the aim of estimation of phytosanitary state of the ChNPP Exclusion Zone forest stand // Uchenye zapiski Tavricheskogo Natsionalnogo Universiteta im. V.I. Vernadskogo. – 2007. – Series «Geography». – V. 20 (59). - № 1. – С. 114-125.

In this paper the investigation results of phytosanitary state of the Chernobyl Exclusion Zone natural growth on the basis of using RSE/GIS-technologies are described. The reflectance spectra characteristics of injured natural growth were determined, the growth was classified and its phytosanitary state was estimated.

Keywords: space images, ChNPP Exclusion Zone, forest, phytosanitary state

Поступила в редакцію 20.04.2007г.