

характерным отличием корней 15-летних культур, созданных посевом, является их значительное отставание по числу и общей протяженности, объему почвы, охватываемой и, следовательно, осваиваемой корневой системой елочек к этому возрасту в сравнении с молодняками посадок. Поэтому почти вдвое менее развитыми оказались корни в вариантах по плужным пластам, в 1,5 раза — в бороздах и в 1,3 — в минерализованных полосах и площадках, подготовленных покровосдирателями.

Корневая система была менее разветвленной, не имела четкой направленности. Так, на участке 10-Б (рис. 2) до 81 % корней оказалось в южной от ствола половине площадки, а на других (7-Б и 9-Д) от 64 до 71 %, наоборот, в северной. В ряде случаев корни развивались преимущественно в поперечном к ходу обработки направлении (8-А<sub>1</sub>), в то время как на другом участке (13-Е) вытягивались вдоль обработанной полосы. Подобная нечеткая пространственная дифференциация корневой системы, имевшая место и в посадках, может объясняться, по-видимому, известной предрасположенностью ели к поверхностному размещению корней. Благодаря лучшей прогреваемости верхнего слоя выбор направления их роста и развития оказывается более независимым и менее ограниченным. Вместе с тем в условиях лимитированной аэрации корнеобитаемого слоя при периодическом переувлажнении на участке 13-Е в долгомощном типе леса до 3/4 всех боковых корней было зафиксировано в южной от ствола половине посадочного (посевого) места.

В заключение отметим, что изученные особенности роста и развития культур ели следует учитывать при разработке технологических схем и определении методов искусственного лесовосстановления.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1]. Касимов А. К. Тахеометрический метод съемки при изучении корневых систем молодняков лесных культур // Перспективы развития исследований по естественным наукам на Западном Урале.— Пермь, 1981.— С. 31—32. [2]. Ковалев М. С. Влияние способа лесных культур на развитие корневой системы // Сб. науч. тр. / ЛенНИИЛХ.— Л., 1974.— Вып. 21.— С. 33—43. [3]. Колесников В. А. Методы изучения корневой системы древесных растений.— М.: Лесн. пром-сть, 1972.— 152 с. [4]. Писаренко А. И., Редько Г. И., Мерзленко М. Д. Искусственные леса. Ч. 1.— М.: ЮНИФИР, ВНИИЦлесресурс, 1992.— 308 с. [5]. Шумаков В. С., Куряев В. Н. Современные способы подготовки почв под лесные культуры.— М.: Лесн. пром-сть, 1973.— 160 с. [6]. Hoffmann G. Wurzel- und Sprosswachstumsuntersuchungen bei Larchen und Kiefern // Beitr. Forstwirt.— 1972.— 6, N 4.

Поступила 22 февраля 1994 г.

УДК 630\*425 : 674.032 : 528.88.042.4

Л. Ю. ЛИТИНСКИЙ

Институт леса Карельского НЦ РАН

### ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ИНФОРМАЦИИ КОСМИЧЕСКОГО СКАНЕРА МСУ-Э

#### ПРИ ИЗУЧЕНИИ ТЕХНОГЕННОЙ ДЕГРАДАЦИИ ЛЕСОВ

Описывается методика мониторинга состояния северотаежных сосновых лесов в зоне воздействия техногенных выбросов Костомукшского ГОКа с использованием информации многоспектрального космического сканера высокого пространственного разрешения. Приведен дешифрованный сканерный снимок, показывающий зону поврежденных лесов.

Monitoring methods of northern taiga pine forests' conditions in the zone of exposure to technogenic discharges of Kostomukshsky concentration mill by using multi-spectrum space scanner of high resolving power has been presented. A deciphered photograph showing the zone of damaged forests has been given.

Деградация лесов под воздействием техногенных выбросов вызывает необходимость контроля за состоянием насаждений. Эта проблема затрагивает и Карелию. Так, в 1982 г. в ее северо-западной части начал функционировать Костомукшский горнообогатительный комбинат (ГОК), производящий железорудные окатыши и ежегодно выбрасывающий в атмосферу более 60 тыс. т сильного фитотоксиканта — диоксида серы, а также значительные количества пыли, содержащей тяжелые металлы.

В настоящее время во всем мире широко применяются эффективные дистанционные методы экологического мониторинга. Один из наиболее распространенных методов — использование информации многоспектральных космических сканеров. Для его практического применения необходимо знать зависимости между параметрами природных объектов и информацией сканирования и корректировки методов дешифрирования в конкретных лесорастительных условиях.

Наземный мониторинг лесов в зоне воздействия выбросов Костомукшского ГОКа проводится институтом леса КарНЦ РАН с 1986 г. В качестве объекта исследований избраны спелые сосняки черничные, произрастающие на песчаных подзолах. Это наиболее распространенный в районе тип леса, такие древостои занимают свыше 60 % лесопокрытой площади. При закладке пробных площадей был использован градиентный подход, направление градиентной линии соответствует направлению преобладающих ветров в регионе (ЮЗ — СВ). Прямоугольные пробные площади (16 шт.) размером 40 × 60 м заложены на верхних частях склонов, обращенных к источнику выбросов, на различном расстоянии от него (до 25 км). Таксационные показатели насаждений на пробных площадях: возраст 110...140 лет, средний диаметр 22...28 см, средняя высота 19...22 м, запас 240...270 м<sup>3</sup>/га. Доля участия сосны в составе 0,8...1,0, ели — до 0,2, береза встречается единично. На большинстве пробных площадей имеется подрост ели высотой до 3 м в количестве до 1500 шт./га.

Как показывает анализ экологической ситуации, основным токсикантом, влияющим на состояние лесов региона, на данном этапе служит содержащийся в атмосферном воздухе диоксид серы; уровни накопления серы и тяжелых металлов в почве пока незначительны. Одним из наиболее ранних внешних симптомов повреждения сосны диоксидом серы, до появления массовых пожелтений и некрозов, является опадение хвои старших возрастов, приводящее к определяемому визуально изреживанию крон. В связи с этим состояние деревьев на пробной площади оценивали по степени дефолиации кроны, согласно методике, рекомендованной Международной программой мониторинга воздействия загрязнения воздуха на леса. Деревья относили к одному из пяти классов дефолиации (категорий состояния). При наблюдениях фиксировали класс дефолиации дерева, положение в пологе насаждения (доминирующее, содоминирующее, промежуточное, подчиненное, угнетенное), наличие механических повреждений, болезней и вредителей.

Для оценки состояния насаждения в целом применяли расчетные индексы состояния, например доля деревьев со степенью дефолиации до 25 % в общем количестве живых деревьев ( $D_1$ ). Сухостой не учитывали, так как кратковременное воздействие ГОКа еще не вызвало отмирания деревьев. Для расчета использовали только доминантные и содоминантные деревья, дефолиация которых прежде должна определяться внешними воздействиями, а не фактором внутривидовой конкуренции. При определении состояния насаждения по данному индексу из расчета исключали деревья с механическими повреждениями, а также сильно ослабленные болезнями и вредителями. Как показали исследования в районе Костомукши, такой показатель достаточно достоверно оценива-

ет состояние насаждения на начальных стадиях техногенной деградации, до начала массового отмирания деревьев.

Наземные наблюдения показывают, что состояние насаждений с 1986 г. постоянно ухудшается, особенно резко с 1991 г. Индекс  $D_1$  до 1989 г. был примерно одинаков на всех пробных площадях и близок к 100 %, но резко уменьшился (до 50...60 %) в 1991 г. на участках, расположенных на расстоянии до 10...15 км от источника выбросов. Отмечается значительная вариация в состоянии как отдельных деревьев на каждой пробной площади, так и насаждений на пробных площадях, находящихся на различном расстоянии от источника выбросов. Это свидетельствует о том, что на основании только наземных наблюдений затруднительно получить общую картину состояния лесов в окрестностях источника техногенных выбросов. В связи с этим в 1992 г. была сделана попытка применения данных дистанционного зондирования. Использовали полученный в НПО «Планета» снимок, сделанный сканером МСУ-Э в июне 1992 г. Московское время для первой строки 11:44:10. Техническое качество удовлетворительное, облачность практически отсутствовала на всем снимке. Снимок охватывал территорию приблизительно  $45 \times 80$  км, комбинат находился в ее центре.

Сканер имеет размер пиксела  $45 \times 34$  м и следующие спектральные диапазоны: 0,50...0,59 (зеленый, G), 0,61...0,69 (красный, R) и 0,70...0,89 (ближний инфракрасный, NIR) мкм. Выбор сканера высокого пространственного разрешения определяется тем, что в изучаемом регионе минимальные естественные размеры насаждения часто составляют менее 1 га, и при большом размере пиксела вследствие неоднородности его «содержимого» невозможно выявить корреляцию между дендрометрическими и спектрометрическими данными.

Дефолиация приводит к увеличению неровности поверхности насаждения и уменьшению зеленой биомассы, что вызывает снижение отражения соответственно во всех спектральных диапазонах и в ближней инфракрасной области. При уменьшении содержания хлорофилла, происходящем в результате техногенной деградации лесов, заметно увеличивается отражение в красной области спектра [2]. Таким образом, эти изменения сказываются на интенсивности излучения в соответствующих диапазонах, что и позволяет выявлять насаждения, находящиеся в различных стадиях повреждения.

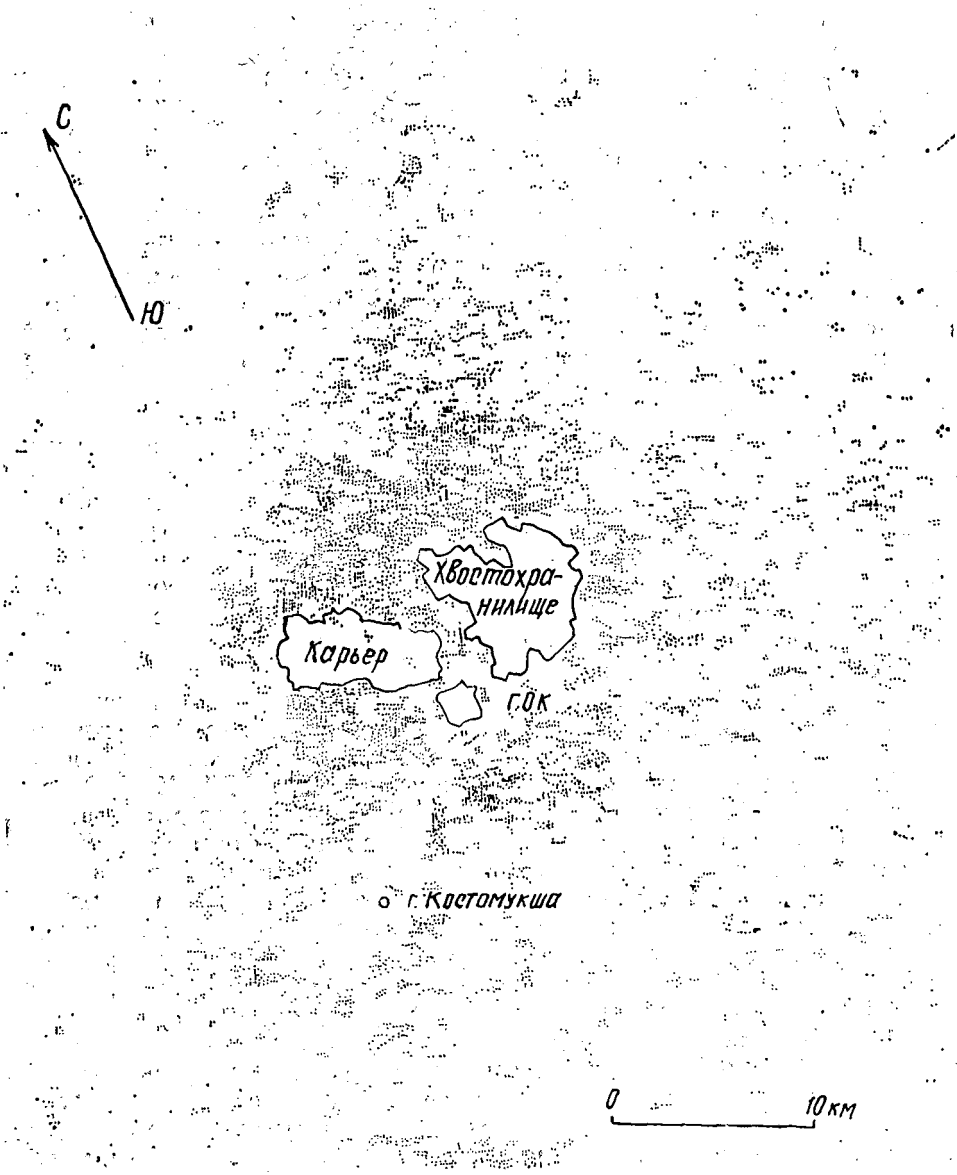
Поскольку дефолиация отражается одновременно и на индексе состояния, корреляцию между ним и спектральными характеристиками можно использовать для дистанционного зондирования состояния лесов.

Снимок дешифрировали с помощью компьютера PS/2, MS-DOS 5.0. Программное обеспечение разработано автором. Программа работает со сканерным снимком, записанным в виде файла формата ЧБК (последовательно интенсивности излучения по всем каналам для каждого пиксела), и позволяет снимать спектральные характеристики любого пиксела снимка. При дешифрировании создается синтезированное изображение; каждому пикселу снимка согласно алгоритму классификации назначается цвет, характеризующий категорию состояния леса, а также различные категории земель.

Методика классификации была близка к используемой при инвентаризации лесов Финляндии. Ее основу составляла классификация по методу «ближайшего соседства» в евклидовом спектральном пространстве [1]. Для каждого пиксела снимка по его спектральным характеристикам рассчитывали расстояние последовательно до всех заданных классов; пиксел относили к тому классу, расстояние до которого наименьшее. Ключевыми участками служили постоянные пробные площади наземного мониторинга и характерные участки основных категорий земель — болота, вырубки, озера, дороги. В качестве спектрометричес-

ких характеристик использовали интенсивности по каналам G, R, NIR и соотношения NIR/R и NIR/G, а в качестве дендрометрической характеристики — индекс состояния  $D_1$ .

Дешифрирование позволило выявить следующую картину. Четко различимо пятно каплевидной формы, образованное пикселями «поврежденных» насаждений, с центром в точке расположения корпусов комбината (см. рисунок). Изображение в условных цветах значительно нагляднее. Форма пятна соответствует направлению преобладающих ветров. Протяженность зоны повреждения лесов в направлении ЮЗ — СВ около 35 км, СЗ — ЮВ — около 20 км, общая площадь достигает 450 км<sup>2</sup>. Насаждения с высокой степенью поврежденности сосредоточены вблизи карьера — источника пылевых выбросов, что свидетельствует



Повреждения лесов в окрестностях Костомукшского ГОКа. Точками обозначены насаждения с индексом состояния  $D_1 < 75\%$