

УДК 528.85/87

## Экологический мониторинг окружающей среды по многозональным космическим снимкам

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

Центр аерокосмічних досліджень Землі НАН України, Київ

*Надійшла до редакції 21.09.98*

---

Дослідження навколишнього середовища у режимі моніторингу пропонується проводити за матеріалами багатозональної космічної зйомки з високою роздільною здатністю. Розроблена методика проведення таких досліджень на прикладі Чорнобильського полігону. Складена схема екологічного стану полігону за матеріалами багатозональної космічної зйомки. Велику увагу привернуто до питань оцінки достовірності результатів.

---

Природная среда Украины загрязнена большим количеством разных токсичных химических элементов и соединений. В этих условиях актуальной задачей является проведение регулярного площадного экологического мониторинга за состоянием окружающей среды, и прежде всего за растительностью, находящейся в начале пищевых цепей. Наиболее эффективным источником информации о состоянии растительности и ее изменениях, который дает возможность проводить экологические исследования оперативно и с максимальной экономичностью на любых по размеру территориях, являются материалы многозональной космической съемки высокого разрешения.

Авторы использовали многозональные космические снимки для проведения экологического мониторинга окружающей среды в пределах южного следа от аварии на Чернобыльской АЭС. Анализировалось состояние растительности и ее изменения во времени. Основное внимание уделялось решению вопросов методики проведения таких исследований. Исходными материалами для работы служили многозональные космические снимки со спутников «Landsat», сделанные 16 апреля 1984 г. и 29 мая 1988 г., и «Spot», сделанные 06 мая 1986 г. и 23 августа 1995 г.

В основе исследований лежат известные зависимости между отражением солнечного света растениями в узких спектральных диапазонах и содержанием хлорофилла, строением листьев, количеством воды в растениях, которые закономерно изменяются под воздействием токсикантов [2, 3 и др.]. Практически все выпавшие в результате аварии тяжелые металлы, в том числе и радионуклиды, являются токсикантами для растений и оказывают на них неспецифическое воздействие.

Замеры спектральных яркостей проводились по относительно равномерной сети в пределах каждого из фитовариантных природно-территориальных комплексов (ПТК), которые были выделены по данным наземных исследований [1]. Учитывая большое количество факторов, влияющих на спектральные яркости растений, которые невозможно учесть, и неравномерный характер распределения содержания радионуклидов и других токсикантов, спектральные яркости измерялись по сравнительно густой сети, чтобы получить достаточное количество замеров по каждой группе растений (не менее 100), по всей излучаемой территории.

Учет влияния на спектральные яркости растительности различий в условиях проведения съемки в разные годы позволил предложенный нами прием

«интеркалибровки». Он основан на использовании в качестве эталонов природных объектов с относительно стабильными спектральными свойствами [4]. В итоге спектральные яркости всех снимков были приведены к условиям съемки 06 мая 1986 г.

Влияние радионуклидов и других токсикантов на состояние растительности оценивалось путем построения зависимостей между спектральными яркостями растительности каждого фитовариантного ПТК в красной и ближней ИК-зонах спектра и содержанием цезия-137 в почве, установленным по данным наземных исследований. Цезий-137 использовался как удобный трассер экологических условий. Аппроксимация зависимостей проводилась с помощью полиномов Чебышева. В результате установлено, что авария на ЧАЭС повлияла на все растительные ассоциации, но наиболее интенсивно изменены сосновые леса. Растительность на влажной почве более подвержена воздействию токсикантов, чем растительность на сухой почве. Лиственные леса в целом более устойчивы к воздействию токсикантов, чем сосновые.

По установленным зависимостям между спектральными яркостями растительности и содержанием цезия-137 в почве построена схема экологического состояния района работ по состоянию на 1988 г. Анализ схемы показал, что наибольшие изменения растительности отмечаются в районе ЧАЭС. Отсюда протягиваются три узких области с относительно повышенной интенсивностью изменения спектральных яркостей растительности, совпадающие с долинами рек Припять, Уж и Брагинка. На северных окраинах лесных массивов и населенных пунктов экологическая обстановка хуже, чем на южных. Большому изменению подверглась спектральная яркость растительности в пределах наиболее приподнятых участков рельефа. Установленные закономерности полностью согласуются с данными наземных исследований.

Оценка изменений экологической обстановки в районе работ проводилась двумя путями. Прежде всего — путем сравнительного анализа графиков зависимости между спектральными яркостями и содержанием цезия-137 в почве, построенным по снимкам разных лет. Установлено, что доаварийные графики резко отличаются от послеаварийных. Судя по изменению формы графиков, интенсивность влияния токсикантов на растительность после 1986 г. постепенно уменьшается, но до сих пор это влияние еще очень значительное.

Второй путь оценки экологической обстановки заключается в построении «разностных» снимков, спектральные яркости которых отвечают разности спектральных яркостей двух сравниваемых сним-

ков. Естественно, сравниваемые снимки предварительно подверглись интеркалибровке. Построены разностные снимки, характеризующие различия в экологических условиях между 1984 и 1986 гг., 1986 и 1988 гг., 1986 и 1995 гг.

Судя по первому снимку, к 06 мая 1986 г., т. е. на десятый день после аварии, влияние выброшенных токсикантов на леса еще не проявилось. Но очень хорошо виден пепел от сгоревшего графита четвертого энергоблока, который покрывал поверхность пруда-охладителя к востоку от дамбы и отсутствовал к западу от нее. Это хорошо согласуется с направлением перемещения воды в пруду-охладителе.

На втором снимке, отражающем обстановку через два года после аварии, хорошо видно, что сосновые леса интенсивно изменены, но изменения проявились на отдельных небольших обособленных участках. Участков таких довольно много.

Совсем иная картина на снимке, отражающем изменения в экологии района между 1986 и 1995 гг. Видно, что все сосновые леса под воздействием токсикантов изменили свои спектральные свойства.

Важнейшим вопросом проведенных исследований, как и любых работ, основанных на использовании дистанционных материалов, есть оценка достоверности полученных результатов. Использование данных наземной спектрофотометрии растений для проверки и контроля результатов исследований по многозональным космическим снимкам нельзя считать, строго говоря, корректными. Из-за значительных различий размеров изучаемых объектов, при их сопоставлении должны использоваться коэффициенты подобия, как это имеет место в других дисциплинах, но этот вопрос пока не решен. Кроме того, практически невозможно отобрать для спектрофотометрирования листья и хвою верхнего яруса, которые и определяют спектральные свойства растительности на снимках. А если бы это и было возможно, то, учитывая различия спектральных яркостей даже в пределах одного листа, не говоря уже о листьях, растущих в разных условиях (разные ярусы листвы, разная освещенность и др.), для получения сопоставимых данных необходимо большое количество замеров, что весьма трудоемко и дорого.

Ни один из наземных методов исследований не дает возможности построить карту экологического состояния территории по анализу растительности, а тем более вести работы в режиме мониторинга — это требует значительных затрат. Поэтому сравнивать результаты дистанционных исследований не с чем, т. е. невозможно воспользоваться прямым и наиболее надежным методом оценки достоверности

полученных результатов. В этих условиях необходимо пользоваться большим числом косвенных методов оценки достоверности.

Достоверность результатов работ по Чернобыльскому полигону подтверждают следующие факты:

1) Распределения значений спектральных яркостей растительности всех фитовариантных ПТК, замеренные на космических снимках в трех или шести зонах спектра (соответственно со спутников SPOT или Landsat) идентичны по форме тем, которые установлены по данным всех наземных и лабораторных исследований. Вероятность случайного совпадения исчезающе мала. К тому же ни один другой объект на дневной поверхности, и прежде всего вода и почва, не имеют подобного характера распределений спектральных яркостей.

2) Используемые нами в качестве однородных растительные комплексы, строго говоря, не являются таковыми. Они, без сомнения, неоднородны по составу, возрасту, полноте (густоте) растений и другим характеристикам. Они растут на почве разного состава, влажности и имеют много других различий, которые практически невозможно учесть, но которые оказывают влияние на спектральные яркости, замеренные на космических снимках. Распределение всех этих факторов по площади носит случайный характер. Поэтому их влияние на интересующие нас спектральные яркости растительности можно рассматривать в качестве шума, наложенного на полезный сигнал. Шум может не дать возможности выделить полезный сигнал, однако он не сможет привести к возникновению статистически значимых зависимостей, тем более для разных видов растительности и на снимках разных лет.

3) Сравнительный анализ графиков зависимости между спектральными яркостями растительности и содержанием цезий-137 в почве для разных фитовариантных ПТК свидетельствует, что графики для растительности в 1984 г. резко отличаются от всех последующих, тогда как все послеаварийные графики близки между собой. Различия между до- и послеаварийными графиками нельзя ничем объяснить, кроме влияния Чернобыльской катастрофы.

4) Построенная по многозональным снимкам схема экологического состояния территории в преде-

лах южного следа от аварии на ЧАЭС хорошо дополняет данные наземных исследований.

Все сказанное выше подтверждает достоверность полученных результатов и в то же время подчеркивает сложность и актуальность проблемы оценки достоверности результатов дистанционных исследований, для чего нужны надежные детальные данные наземных работ. В дальнейшем результаты оценки экологического состояния территорий по дистанционным материалам в соответствии с предлагаемой методикой будут использованы в комплексе с данными разнообразных наземных исследований для построения компьютерной модели энергообмена в геосистемах. Такие модели позволяют проанализировать различные ситуации, связанные с загрязнением окружающей среды, а также оценить эффективность предлагаемых мероприятий по решению возникающих проблем. Полученные результаты будут служить надежной основой для принятия решений административными органами при анализе экологической ситуации, связанной с загрязнением окружающей среды, независимо от источника поступающих токсикантов.

1. Давыдчук В. С. и др. Ландшафты Чернобыльской зоны и их оценка по условиям миграции радионуклидов.
2. Кронберг П. Дистанционное изучение Земли. Основы и методы дистанционных исследований в геологии: Пер. с нем. — М.: Мир, 1998.—343 с.
3. Лялько В. И. и др. Аэрокосмические методы в геоэкологии. — К.: Наук. думка, 1992.—206 с.
4. Лялько В. И., Сахацкий А. И., Ходоровский А. Я. Интеркалибровка разновременных многозональных космических снимков для экологического мониторинга (на примере исследования зоны влияния аварии на ЧАЭС) // Космічна наука і технологія.—1997.—3, № 3/4.—С. 54—58.

#### ECOLOGICAL MONITORING OF ENVIRONMENT USING MULTIBAND SPACE IMAGES

V. I. Lyal'ko, A. Ya. Khodorovskii, and A. I. Sakhatskii

We propose to investigate the environment in the monitoring mode using high-resolution multiband space images. A technique for such investigations was developed on the basis of the Chernobyl test area. An ecological state scheme of the test area was constructed using multiband space imaging data. The assessment of the result reliability is paid much attention.