

ДИСТАНЦИОННОЕ ЗОНДИРОВАНИЕ АТМОСФЕРЫ И ПОДСТИЛАЮЩЕЙ ПОВЕРХНОСТИ

УДК 551.501

**В.Л. Миронов, А.В. Евтюшкин, С.А. Комаров,
Н.М. Оскорбин, А.Н. Романов**

МЕТОДЫ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ТЕХНОГЕННЫХ ЗАГРЯЗНЕНИЙ В ОПТИЧЕСКОМ И РАДИОДИАПАЗОНАХ

Приведены результаты экспериментальных исследований по разработке методов дистанционного зондирования техногенных загрязнений путем комплексного использования орбитальных и самолетных измерений в оптическом и радиодиапазонах, а также наземных, полигонных и лабораторных данных. В качестве индикаторов техногенных загрязнений использованы снежный покров и грунтовые воды.

На базе Алтайского госуниверситета ведутся научно-исследовательские работы по развитию дистанционных методов изучения процессов переноса и накопления загрязняющих веществ, обусловленных хозяйственной деятельностью, на территории региона. Наиболее полно и последовательно рассмотрены к настоящему времени задачи, связанные с механизмом воздушного переноса, а также переноса приповерхностными водами. Отмечено, что эффективным является комплексное использование орбитальных и самолетных измерений в оптическом и радиодиапазонах, а также наземных, полигонных и лабораторных данных. Большое внимание уделено при этом выявлению аномально высокого содержания тяжелых металлов в почве и процессам их распространения.

1. Анализ загрязнения территории по снежному покрову

Значительное количество техногенных загрязнений от промышленных центров поступает воздушным путем из локализованных источников. Это трубы тепловых электростанций, отопительных систем и промышленных предприятий. Хорошим индикатором подобных загрязнений за зимний период является снежный покров [1]. В связи с появлением аппаратуры для дистанционного зондирования Земли из космоса получили развитие методы изучения загрязнения снежного покрова на больших территориях [2].

Предварительное изучение состояния сравнительно обширной территории юга Западной Сибири и оценка возможности решения поставленной задачи осуществлялись по материалам орбитальной съемки прошедших лет из архива ЗапсибРЦПОДа (г. Новосибирск). Для работы были отобраны 4 снимка МСУ-С, 22 снимка МСУ-СК и 8 снимков МСУ-Э со спутников серии <Космос> и <Океан> (высота полета 620 км, периодичность обзора территории составляет 5–7 суток).

Параметры данной аппаратуры следующие. Многозональный сканер среднего разрешения МСУ-С обеспечивает съемку поверхности в диапазонах 0,5–0,7; 0,8–1,1 мкм. Ширина полосы обзора составляет 1380 км, разрешение на местности – 345 м. МСУ-СК – сканер среднего разрешения с конической разверткой, имеет 5 спектральных каналов: 0,54–0,60; 0,6–0,72; 0,72–0,8; 0,81–1 и 10,3–11,75 мкм. Ширина полосы обзора – 600 км. Многозональный сканер высокого разрешения МСУ-Э обеспечивает съемку в 3-х спектральных диапазонах: 0,5–0,59; 0,61–0,69 и 0,81–0,9 мкм, разрешение на местности – 45 м, ширина полосы обзора – 45 км.

Снимки, полученные с помощью первых двух приборов, обеспечивают съемку всей территории юга Западной Сибири за один пролет и позволяют глобально оценить и выявить источники и площади загрязнений, а снимки с МСУ-Э служат для более детального изучения отдельных участков загрязнений.

Привязка на местности осуществлялась по картам масштаба от 1:100000 до 1:500000. Из анализа следует, что осенние снимки (октябрь – ноябрь) дают возможность хорошо проследить динамику установления снежного покрова. При этом, однако, источников промышленного загрязнения обнаружить не удастся. В зимний период загрязнения проявляются только

во время долгого отсутствия снегопадов. На свежеснег выпавшем снеге выделяются точечные источники загрязнений в виде отдельных городов и поселков – в пределах городской черты. По мере прекращения снегопадов и наступления снеготаяния в марте начинают проявляться обширные зоны загрязнения вокруг промышленных центров. Так, на территории Западной Сибири и Казахстана в конце марта проявляются: Павлодар – Ермак с радиусом загрязнений 120 км, Экибастуз – 150 км, Славгород – 30 км, Горняк – Жезкент – Змеиногорск – полоса с запада на восток длиной 100 км и шириной 30 км, Восточный Казахстан: полоса с северо-запада на юго-восток – 250×60 км (Первомайский – Глубокое – Усть-Каменогорск – Лениногорск – Серебрянск). Изучение архивных материалов позволило также произвести планирование новых съемок как по времени, так и на местности.

В связи с этим была заказана и реализована серия орбитальных съемок в марте 1992 года. Информация поступила из Новосибирского РЦПОДа в цифровом виде. Зоны загрязнений снежного покрова определялись по изображениям со спутника <Космос-1939>, полученным с помощью аппаратуры МСУ-СК и МСУ-Э. Обработка проводилась в цифровом виде на специализированном вычислительном комплексе ЭВМ СМ1630–КТС <Диск>, IBM PC/AT-486, 286, объединенных в сеть, и комплексе IMAGE-C. Синхронно со съемкой из космоса проводилось взятие образцов снега наземной экспедицией, поскольку задача количественной оценки загрязнений может быть решена только с использованием наземных данных по тестовым участкам.

Двухканальное изображение МСУ-СК (0,60 – 0,72, 0,81 – 1,0 мкм) пересчитывалось в картографическую проекцию Гаусса в масштабе 1:200000. Картооснова вводилась с дигитайзера. Для качественной оценки загрязнения использовалось разбиение гистограммы интенсивности на отдельные градации, соответствующие различным степеням загрязнения. На основе данных наземной экспедиции по тестовым участкам получено регрессионное уравнение связи количества твердого осадка с интенсивностью 2 и 4 каналов МСУ-СК. Одним из результатов обработки являются матричные распечатки картосхем загрязнений.

Оперативная съемка сканером МСУ-Э в трех спектральных диапазонах проводилась 5.03.92, 22.03.92 и 24.03.92 г. Изучению подлежали южные районы Алтайского края и прилегающие к ним территории Казахстана. Особый интерес представили дымовые шлейфы от г. Горняка в Локтевском районе Алтайского края и г. Жезкента в Семипалатинской области Казахстана. На снежном покрове <отпечатались> следы от дымовых шлейфов, соответствующие направлениям ветра в период от последнего крупного снегопада до момента съемки. На матричных распечатках с монитора масштаба 1:140000 получены изображения загрязнения снежного покрова вокруг Горняка и Жезкента по снимку за 24.03.92. Теоретические и экспериментальные данные показывают, что концентрация примесей по территории весьма неоднородна. Так, техногенные загрязнения от крупных промцентров накапливаются по различным направлениям в зависимости от розы ветров. Кроме того, наблюдается максимум концентрации примесей на некотором расстоянии от точечного источника, которое зависит от высоты трубы и скорости ветра, существует и неоднородность по глубине снежного покрова.

При работе с орбитальными данными усреднение интенсивности регистрируемого на спутнике пиксела происходит не только по определенному участку площади, но и по глубине. Это утверждение основывается на том факте, что при глубине снежного покрова менее 30 см при съемке из космоса влияет подсветка почвы. Средняя высота снега на равнинах Алтая равняется 30–40 см.

Совместно с НПО <Тайфун> была проведена наземная экспедиция по отбору проб снега по маршруту Усть-Каменогорск – Горняк – Змеиногорск – Рубцовск. Площадки отбора проб выбирались по архивным космоснимкам и с учетом розы ветров. Отобранный снег подвергался химическому анализу на содержание тяжелых металлов в НПО <Тайфун>. Полученные данные позволили построить изолинии ряда химических элементов, имеющих высокие коэффициенты парной корреляции с твердым осадком. Сетка координат ограничена районом Рубцовск – Змеиногорск – Жезкент. Данные интерполировались на всю площадь методом сплайн-аппроксимации квадратичными сплайнами по нерегулярной сетке. Строились изолинии обобщающего показателя для техногенных составляющих (медь, цинк, мышьяк, свинец и барий) и терригенных составляющих (марганец, иттрий, стабильный стронций, железо). По изолиниям выделяются места накопления бария около Горняка и Змеиногорска. Возможным источником бария является руда, добываемая в Карамышево, и отвалы руды на горнообогатительном комбинате в Горняке.

Таким образом, в результате дешифрирования цифровых сканерных космических изображений выявлены источники техногенного загрязнения снежного покрова на региональном уровне. На локальном уровне определена область влияния промышленных производств Горняка и Жезкента. По данным снегомерной съемки построены карты загрязнений подстилающей поверхности тяжелыми металлами. Обобщающий показатель выделяет область загрязнения снежного покрова от Жезкента на северо-восток до Змеиногорска. Этот регион дешифрируется по снимкам МСУ-СК в поздневесенний период как наиболее загрязненный в Алтайском крае.

2. Дистанционный мониторинг процессов фильтрации и подтопления территории вблизи промышленных отстойников

Сложная экологическая обстановка в ряде случаев возникает в районах промышленных отстойников горнообогатительного производства. Фильтрационные процессы и поднятие уровня грунтовых вод приводят к выносу вместе с водой вредных веществ технологического цикла на территории обитания населения, а также на значительные площади, связанные с сельскохозяйственным производством.

Для оценки возникающей гидрологической обстановки предложен способ, сочетающий сезонную сканерную орбитальную съемку и самолетную трассовую СВЧ-радиометрию наблюдаемой территории. С помощью такого подхода можно оперативно контролировать влажность поверхностного слоя почвы, а также решать более сложную задачу дистанционного определения зон фильтрации и уровня грунтовых вод [3–5].

Экспериментальное обоснование и отработка данного подхода предварительно проводились на полигонной территории. Выбранный для этой цели участок площадью 4384 га представлял собой багарные земли юго-запада Алтайского края в пойме реки Алей. Почвы представлены черноземами южными и солонцами черноземными. На данной территории были сделаны подробные наземные исследования состава почв и их влажностного режима. Контактным способом (влагомер ВНП-1) была зафиксирована влажность в ряде наземных контрольных точек.

Орбитальная съемка данной территории осуществлялась сканером МСУ-Э с борта аппарата <Космос-1939>. По яркостному контрасту снимков были выделены участки с повышенной поверхностной влажностью. Это дало возможность использовать снимки для оптимального планирования трассовых самолетных измерений с целью детального анализа влажности.

Самолетные работы заключались в измерениях с борта АН-2 радио-яркостных температур на длинах волн 18, 21, 27, 50 см СВЧ-радиометрами по трассам, проходящим через неоднородные участки, выбранные с учетом орбитальных изображений. Значения яркостных температур интерпретировались на среднюю влажность в пахотном слое почвы. Для этого проводились измерения комплексной диэлектрической проницаемости образцов почв с данной тестовой территории в лабораторных условиях с помощью установки мостового типа и строились регрессионные зависимости [4]. Получено хорошее соответствие результатов в контрольных точках с наземными измерениями. Исследование и сравнение сканерного и радиометрического сигналов вдоль одной и той же трассы выявили корреляцию по влажностным характеристикам сравниваемых зависимостей.

Далее значения яркостных температур, полученные с помощью радиометрических измерений, интерпретировались на среднюю влажность в пахотном слое, затем они интерполировались на всю площадь методом сеток [6], после чего совмещались с картоосновой и космическим сканерным изображением. В результате путем компьютерной обработки построена картосхема влажностных характеристик площадей. Получено хорошее соответствие с наземными измерениями.

С использованием развитого подхода в течение 1992 г. проводились работы по аэрокосмическому картированию гидрологической обстановки и уровня грунтовых вод вблизи отстойников горнообогатительного комбината г. Горняка. Для этого предварительно на дигитайзере была подготовлена картооснова местности масштаба 1:50000. Используемая сканерная многозональная космическая съемка позволила получить в цифровом виде оперативную информацию, пригодную для последующей обработки на ЭВМ. Производился пересчет 3-го канала МСУ-Э (0,81 – 0,90 мкм) в проекцию картоосновы по 6 опорным точкам. Водный поток и переувлажненная почва около отстойника определялись пороговой функцией типа усеченной ступени. Сезонные сканерные съемки (весна – лето – осень) позволили выявить дина-

мику открытой воды и переувлажненных участков почвы. При летних съемках участки наибольшего увлажнения дешифрируются по высоким яркостям растительности.

Аэрокартирование участков с близким уровнем грунтовых вод (УГВ) осуществлялось путем облета территории на самолете АН-2 с СВЧ-радиометрами на борту. Длина галсов определялась, исходя из возможных размеров зоны подтопления, и составляла от 4 до 6 км. Расстояние между галсами выбиралось, исходя из диаграммы направленности антенн, высоты полета (100 м) и составляло 100–200 м. Полетные измерения проводились при воздушной скорости самолета 180 км/ч.

Значения УГВ были получены по 19 галсам самолета с помощью методики, использующей оценку влажности фильтрационной каймы и контрольные наземные измерения. Затем они интерполировались на всю площадь методом сеток и совмещались с картоосновой и космическим сканерным изображением. Были построены картосхемы участков с УГВ менее 1 м, а также подтопленных областей с повышенной влажностью поверхностного слоя почвы.

Общая площадь территории с УГВ менее 1 м, оцененная по результатам аэрокосмического картирования, составила более 3,6 тыс. га.

Использование данных аэрокосмической съемки в оптическом и СВЧ-диапазонах, позволяет получить информацию о территориальном распределении областей с переувлажненным поверхностным слоем почвы, областей с близким залеганием грунтовых вод, а также найти численные значения влажности почвы и УГВ на больших площадях.

Заключение

Примененный метод планирования наземных и самолетных работ по архивным и оперативным синхронным космическим изображениям позволяет пространственно экстраполировать уровни загрязнения на обширных территориях, находящихся за пределами области, обследуемой наземной экспедицией. При этом существенно сокращаются производственные затраты на получение результатов и появляется возможность вести сезонные мониторинговые обследования территорий. В результате проведенных исследований сделано следующее:

– на региональном уровне (юг Западной Сибири) и локальном уровне (площадь треугольника Горняк–Змеиногорск–Рубцовск) оконтурированы области техногенного загрязнения снежного покрова;

– проведено картирование распределения влажности почв на основе совместного использования оптического и радиодиапазонов;

– проведено тематическое картирование тестовых территорий посевных площадей с указанием уровня грунтовых вод и характера засоления, а также процессов фильтрации и подтопления в зоне промышленного отстойника горнообогатительного комбината (г. Горняк); показано, что загрязнение территорий тяжелыми металлами в дозах, многократно превышающих ПДК, происходит за счет переноса химических элементов фильтрационными водами.

Проведенная работа свидетельствует об эффективности комплексного применения дистанционных методов в оптическом и радиодиапазонах для контроля и анализа экологической ситуации на сравнительно больших территориях в рамках регионального мониторинга. Сочетание с полигонными и лабораторными тестовыми исследованиями, результатами химического анализа, компьютерной обработки позволяет осуществить тематическое картирование.

1. Прокачева В.Г., Чмутова Н.П., Абакуменко В.П., Усачев В.Ф. Зоны загрязнения снежного покрова вокруг городов на территории СССР. Л. 1988. 125 с.
2. Усачев В.Ф., Олоншек Д., Прокачева В.Г., Гюнтер Т. Спектральная отражательная способность снежного покрова. Л. 1988. 92 с.
3. Шутко А.М. СВЧ-радиометрия водной поверхности и почвогрунтов. М.: Наука, 1986. 188 с.
4. Положительное решение по заявке N 4911186/09/00221315 G 01 N 22/04 <Дистанционный радиофизический способ определения влажности> /С.А. Комаров, В.Л. Миронов, А.Н. Романов, Н.В. Рычкова // Заявлено 8.01.1991 г. Положительное решение от 31.01.1992 г.
5. Реутов Е.А., Шутко А.М. //Исследование Земли из космоса. 1991. N2. С 99–106.
6. Воротицев А.Г. //Картографическое обеспечение народного хозяйства. Новосибирск. 1988. С. 37–40.

Алтайский госуниверситет,
г. Барнаул

Поступила в редакцию
22 июня 1993 г.

V.L. Mironov, A.V. Evtushkin, S.A. Komarov, N.M. Oskorbin,
A.N. Romanov. **Remote Technique for Sounding Anthropogenic Pollutions in Optical and Radio Wave Regions.**

Some results of experimental studies aimed at developing remote techniques for sounding pollutions of anthropogenic origin based on spaceborne, airborne, and ground based observations in optical and radio wave regions, as well as on data of field observations and laboratory data are presented. In such studies snow and ground water are used as indicators of such pollutions.