

УДК 528.9

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МАТЕРИАЛОВ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ДЛЯ ЦЕЛЕЙ МОНИТОРИНГА ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

М.В. РЫМАШЕВСКАЯ

(Полоцкий государственный университет)

Представлены возможности использования материалов дистанционного зондирования для целей мониторинга растительности, земель, почв, атмосферного воздуха, водных ресурсов.

Различные природные явления (сильные заморозки, засухи, наводнения, ураганные ветры, паводки, сильные снегопады, град), вызывающие чрезвычайные ситуации, и техногенные аварии (на Чернобыльской АЭС, магистральных трубопроводах, очистных сооружениях, канализационных системах) заставляют нас очередной раз задуматься о важности наблюдения, оценки и прогноза состояния окружающей среды.

В Республике Беларусь разработана и действует Национальная система мониторинга окружающей среды, ориентированная на сведение воедино разрозненной экологической информации и обеспечение органов управления и хозяйствования объективной и достоверной информацией [1]. Также ведутся работы по практической реализации трехуровневой системы экологического мониторинга, включающей наземный, авиационный и космический уровни [2, 3]. Данные традиционного наземного (точечного) мониторинга, дополняясь данными дистанционного зондирования, способствуют формированию схемы пространственного и временного варьирования параметров для целей мониторинга окружающей среды.

Методы космической и аэросъемки используются для решения задач лесного хозяйства [3], обнаружения лесных пожаров [4]. Однако имеется огромный потенциал для расширения использования материалов дистанционного зондирования для решения экологических задач.

Итак, рассмотрим достоинства, недостатки и возможности использования методов дистанционного зондирования для решения задач различных видов мониторинга окружающей среды.

Методы дистанционного зондирования (аэросъемка и космическая съемка) обладают следующими важными преимуществами по сравнению с традиционными методами мониторинга для анализа состояния окружающей среды.

- оперативность получения данных;
- возможность систематического мониторинга с небольшим периодом времени (от нескольких часов до недель), регулярного наблюдения за изменениями параметров окружающей среды;
- площадной характер данных по сравнению с точечным (наземные методы);
- значительный экономический эффект космических методов дистанционного зондирования при наличии отлаженного алгоритма обработки материалов;
- возможность получения снимков на достаточно большую территорию;
- возможность получения данных для труднодоступных районов.

В настоящее время функционируют десятки спутников, позволяющих выполнять наблюдения за состоянием окружающей среды. Различные пространственные, временные, радиометрические и спектральные характеристики, получаемые с их помощью материалы, позволяют решать самые разные задачи мониторинга, охраны и контроля состояния окружающей среды на различных уровнях: глобальном, региональном и локальном.

Для целей экологического мониторинга применяются как материалы со спутников общего назначения (Landsat, SPOT и др.), так и со спутников, специально предназначенных для выполнения определенных задач экологии. В последние годы растет значимость лидарных методов съемки, использования гиперспектральных снимков, материалов высокого пространственного разрешения.

Мониторинг растительности. Мониторинг растительности - одно из основных приложений метода дистанционного зондирования. В Республике Беларусь для мониторинга состояния лесных насаждений разработана трехуровневая система мониторинга, включающая наземный, авиационный и космический уровни. С использованием материалов со спутников Ресур-01, Метеор, Tetra и Landsat ведется мониторинг ветровалов, буреломов, обнаружение и картирование очагов усыхания еловых насаждений [3].

Для получения данных о растительности, кроме материалов со спутников общего назначения (SPOT, Landsat, Tetra и др.), в мировой практике широко используются материалы со спутников узкоспециализированного назначения, например спутников серии NOAA и многих других. Наиболее эффек-

тивны для мониторинга видов растительности и их биофизических характеристик гиперспектральные данные (инструмент AVIRIS) [5]. С их помощью можно получить данные объема биомассы, типа, возраста, состава насаждений, выполнить оценку состояния насаждений.

Для повышения эффективности дешифрирования растительности по материалам дистанционного зондирования используются так называемые индексы растительности. Индекс растительности - это безразмерная радиометрическая величина, которая служит показателем активности зеленой растительности, и включает оценку содержания хлорофилла, величины биомассы и другие показатели. В настоящее время используются более 20 индексов. Среди них достаточно широко используемый *NDVI*. Он определяется по следующей формуле [4]:

$$NDVI = (NIR - Red)/(NIR + Red),$$

где *NIR* – съемка в ближнем инфракрасном диапазоне спектра; *Red* – съемка в красном диапазоне спектра.

Следует отметить, что для обработки материалов дистанционного зондирования, для получения полной и достоверной информации о здоровье растений, типе, возрасте, структуре насаждений необходимо подробное изучение физиологии исследуемых видов растений, зависимости пигментации растений от различных факторов окружающей среды для определения причин, ее вызывающих (сезонные изменения, стрессовые ситуации) [5].

Мониторинг атмосферного воздуха. Воздушный бассейн Республики Беларусь испытывает нагрузку как от региональных источников загрязнения, так и вследствие трансграничного переноса. В составе выбросов преобладают оксид углерода, диоксид серы, оксиды азота и углеводороды. Особенности географического положения Беларуси обуславливают резкое преобладание в составе атмосферных выпадений трансграничной составляющей.

В рамках данного вида мониторинга в Республике Беларусь осуществляются наблюдения за региональными и глобальными потоками загрязняющих веществ в атмосферном воздухе, атмосферными осадками и снежным покровом. Сеть мониторинга атмосферного воздуха включает 16 промышленных центров Беларуси, где выполняются стационарные наблюдения за 25 вредными веществами, маршрутные и подфакельные наблюдения, выполняемые передвижными станциями, эпизодические наблюдения в некоторых городах Беларуси [1]. Результаты наблюдений с помощью выполняемого традиционного метода мониторинга атмосферного воздуха могут быть использованы для моделирования рассеивания загрязняющих веществ и определения зон загрязнения. Для получения данных пространственного рассеивания загрязняющих веществ в мировой практике используют также аэрокосмический мониторинг. Важными достоинствами использования аэрокосмических методов определения концентрации степени загрязнения атмосферного воздуха является оперативность, определение концентрации поллютантов также и в вертикальном направлении.

В настоящее время функционирует ряд спутников, имеющих приборы для определения уровня содержания поллютантов в атмосферном воздухе. Среди них спутник ENVISAT (прибор SCIAMACHY). Он продолжает миссию спутника ERS-2 по определению уровня загрязнения атмосферного воздуха в стратосфере и тропосфере с разрешением 60x30 км. Для определения содержания загрязнителей атмосферного воздуха используют высокое спектральное разрешение. Различные химические соединения поглощают излучение различных длин волн. Спектрометр сканирует слои атмосферы, анализирует спектры рассеивания на интервале от инфракрасного до ультрафиолетового, и таким образом определяет присутствие поллютантов и их концентрацию в слоях атмосферы. Спутниковые методы позволяют обнаружить и определить концентрацию таких веществ, как озон, диоксид азота, диоксид серы, формальдегиды, соединения брома, хлора и других соединений. Спутник Terra определяет концентрации углекислого газа, метана в тропосфере. Приборы HIRLDS, TES, установленные на борту нового спутника Aura (пуск июль 2004 г.), представляют значительно более высокое вертикальное и горизонтальное разрешения для определения концентрации газов и могут определить концентрацию поллютантов в тропосфере на локальном уровнях с пространственным разрешением 5x9 км. Инструмент IMO позволяет выполнить измерения, связанные с озоновой химией с пространственным разрешением 13x12 км и 13x24 км. В ближайшие годы будет произведен запуск спутников GCOM-A1, METOP и других, которые, как ожидается, внесут значительный вклад в определение величины концентрации загрязнителей в атмосфере [6].

С помощью интеграции данных спутниковых методов (видимый, инфракрасный и микроволновый диапазоны спектра) и, используя стационарные дождевые радары, можно получить данные о количестве осадков. Используя косвенные методы, на основе данных спутниковой съемки возможно получение величины испарения, а также других климатических показателей [7].

Мониторинг поверхностных и подземных вод. Мониторинг поверхностных вод в Республике Беларусь осуществляется наземными методами на 4 пунктах фонового ранга и 123 пунктах наблюдений регионального ранга (мониторинг поверхностных вод на пунктах и на створах). Мониторинг включает наблюдения за следующими параметрами: элементы основного химического состава, взвешенные и органические вещества, биогенные компоненты, нефтепродукты, фенолы, цианиды и др. Мониторинг подземных вод в Беларуси выполняется систематически на стационарной гидрогеологической сети за уровнем, температурой и качеством подземных вод, на территории и вблизи объектов-загрязнителей [1].

Методы дистанционного зондирования позволяют определить такие необходимые показатели мониторинга гидрологии, как площадь водной поверхности (реки, ручья, озера, пруда, водохранилища), определить глубину, температуру поверхности воды, концентрацию хлорофилла, органических веществ, взвешенных частиц и другие показатели. Для значительных по площади водоемов вышеперечисленные параметры наблюдаются в видимом диапазоне и инфракрасном диапазоне спектра с помощью таких оптических сенсоров, как MODIS, MERIS, GLI и др. [7]. Применение метода дистанционного зондирования для определения параметров водоемов пресной воды, особенно небольших по площади, обладает рядом особенностей в отличие от разработанных, широко используемых в мировой практике методик экологического мониторинга морей, океанов, больших озер. Основное отличие заключается в наличии значительно большего количества растворенных веществ, необходимости более частых сезонных наблюдений, необходимости использования материалов высокого пространственного разрешения.

Для мониторинга подземных вод метод прямого распознавания объектов по материалам дистанционного зондирования не применим. Однако ведутся исследования по использованию гравиметрического метода определения изменения масс подземных и поверхностных вод путем высокоточных измерений отклонения силы тяжести со спутника GRACE или планируемого к запуску спутника GOCE. С помощью этого метода можно выявить влияние изменений влажности почвы, объема талых вод, наполненности пласта грунтовых вод и других параметров на поле силы тяжести [7]. Однако данный метод нуждается в большом объеме исследований для выработки алгоритма получения необходимых параметров для мониторинга подземных вод и разработки теории оценки точности полученных результатов. В настоящее время не представляется возможным ожидать от вышеописанного метода высокого пространственного разрешения.

Мониторинг земель (почв). Мониторинга земель (почв) в Республике Беларусь включает мониторинг земельного фонда, агропочвенный мониторинг, мониторинг агротехногенно-загрязненных почв. Ведутся наблюдения за изменением свойств почв, содержанием остаточных количеств пестицидов и ядохимикатов, накоплением тяжелых металлов и другими изменениями почв в результате их сельскохозяйственного использования. В рамках мониторинга земельного фонда фиксируются произошедшие изменения в структуре земель, их качественном состоянии, распределении по видам, землепользователям и др.

Для мониторинга изменения в площадях земель, распределения земель по видам, землепользователям, мониторинга мелиорированных земель, оценки качественного состояния земель, мониторинга деградации и загрязнения почв в мировой практике широко используются материалы дистанционного зондирования. На национальном, региональном и локальном уровнях целесообразно использовать материалы высокого пространственного разрешения с таких спутников, как SPOT, Landsat, спутников серии IRS и других, данные радарной съемки. На локальном уровне - также материалы очень высокого разрешения (спутники Ikonos, Quickbird). В мировой практике все больше внимания для целей экологического мониторинга, решения народохозяйственных задач уделяется гиперспектральным снимкам.

Многоспектральные и гиперспектральные приборы дистанционного зондирования позволяют определить свойства поверхностного слоя почвы при условии отсутствия густой многоярусной древесной и кустарниковой растительности с высокой сомкнутостью крон. В видимой области спектра со спутников Landsat, SPOT, спутников с приборами гиперспектральной съемки (например, AVIRIS), радарной съемки можно определить гранулометрический состав почв, содержание железа, карбонатов, содержание органических веществ [8]. При использовании материалов дистанционного зондирования рекомендуется произвести лабораторный физико-химический и спектроскопический анализ почв на эталонных участках, а затем выполнять обработку снимков дистанционного зондирования. Для повышения информативности используется также статистическая обработка снимков.

В настоящее время разработаны методы определения влажности почв с использованием аэрофотоснимков, радарной съемки и съемки в инфракрасном диапазоне спектра. Точность результатов съемки в инфракрасном диапазоне спектра низкая. Наиболее информативной является съемка в видимой области спектра [8,9].

Мониторинг чрезвычайных ситуаций. Данный вид мониторинга в Республике Беларусь осуществляется при угрозе и возникновении аварий, катастроф, стихийных бедствий, чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера для оперативного получения информации и принятия решений по

защите населения и окружающей среды, локализации и ликвидации последствий возникших чрезвычайных ситуаций. Объектами наблюдений являются экологически опасные объекты народного хозяйства, территории, подверженные действию стихийных бедствий (паводки, наводнения, лесные пожары, пожары на торфяниках и др.). Для целей мониторинга чрезвычайных ситуаций широко используются наблюдения, выполняемые в системе ведения других видов мониторинга.

Во всем мире уделяется большое внимание дистанционным методам мониторинга чрезвычайных ситуаций. В Республике Беларусь разработана система космического мониторинга лесных пожаров на основе материалов спутников NOAA [4].

Для выявления очага возгорания при мониторинге лесных пожаров используется канал средней инфракрасной области спектра. Мониторинг участков, подвергшихся пожарам, производится в видимой области спектра спустя несколько дней после пожара. В настоящее время ведутся исследования по использованию пассивных микроволновых сенсоров для определения очагов возгорания.

Методы дистанционного зондирования широко используются для определения зон риска в случае паводков, наводнений, мониторинга изменений и оценки ущерба. Для этого используются материалы радарной и многоспектральной съемки.

В мировой практике материалы дистанционного зондирования широко используются также и для других видов мониторинга: сейсмического, радиационного, локального.

Использование материалов космической съемки для целей мониторинга окружающей среды включает все более разнообразные направления исследований. Запуск новых спутников, совершенствование оборудования, специализированные миссии для выполнения определенных задач мониторинга способствуют более широкому и эффективному использованию материалов дистанционного зондирования. Обработка и анализ материалов аэрокосмической съемки также совершенствуется, используются масштабные ряды изображений или пирамиды изображений, методы интеграции данных, разрабатываются алгоритмы косвенной индикации процессов и явлений, разрабатываются системы автоматического распознавания образов.

Однако при всех вышеперечисленных достоинствах методы дистанционного зондирования не всегда могут обеспечить необходимой информацией в той или иной сфере экологических исследований. Методы дистанционного зондирования скорее представляют пространственную, спектральную и временную информацию для дальнейшей обработки и анализа [5]. Для решения задач мониторинга окружающей среды, понимания механизмов ее функционирования необходимо использовать анализ всех имеющихся данных о процессах и явлениях окружающей среды. Совместное использование данных наземных наблюдений и материалов дистанционного зондирования позволяет получить объективные и достоверные сведения о состоянии окружающей среды.

Использование материалов дистанционного зондирования, полученных с помощью первого белорусского спутника, позволит расширить область применения методов дистанционного зондирования как для решения экологических задач, так и для задач отраслей и сфер экономики Беларуси.

ЛИТЕРАТУРА

1. Национальный доклад: Состояние окружающей среды Республики Беларусь. - Мн.: Минприроды, 2002.
2. Ковалев А.А., Кузьмин В.Н. Трехуровневая система организации экологического мониторинга окружающей среды // Материалы первого белорусского космического конгресса, Минск, 28 - 30 окт. 2003 года. - Мн.: НАНБ.
3. Применение аэрокосмических технологий в лесном хозяйстве Республики Беларусь / Н.К. Крук, Н.Т. Юшкевич, В.Ф. Побурушко и др. // Материалы первого белорусского космического конгресса, Минск, 28 - 30 окт. 2003 года. - Мн.: НАНБ.
4. Золотой С.А., Коноплин Е.Е., Царик Т.Г. Технология обнаружения лесных пожаров на многозональных снимках низкого разрешения // Материалы первого белорусского космического конгресса, Минск, 28 - 30 окт. 2003 года. - Мн.: НАНБ.
5. Jensen J.R. Remote Sensing of the Environment. - New Jersey: Prentice Hall, 2000. - 544 p.
6. Earth observation handbook <<http://www.eohandbook.com>>
7. Integrated global observing strategy for the monitoring of our environment from space and from earth // Report for global water cycle theme team, ESA, april 2004. - 100 p.
8. Palacios-Orueta, Ustin S.L. Remote Sensing of Soil Properties in the Santa Monica Mountains I. Spectral Analysis // Remote Sens. Environ. - 1998. - V. 65. -P. 170 - 183.
9. Zavistoski A. Remote Sensing of Soil Characteristics <<http://www.acad.carleton.edu/curricular/GEOL/classes/geo258/studentwork/Zawistoski.html>>