

УДК 87.29.02; 87.31.91; 89.57.45

В. А. Сипач, зав. сектором мониторинга геосистем (УП «Космоаэрогеология»);  
О. Н. Шашок, инженер (УП «Космоаэрогеология»);  
М. С. Кудряков, мл. науч. сотрудник (УП «Космоаэрогеология»)

### СИСТЕМА ОЦЕНКИ ПРИРОДНЫХ И АНТРОПОГЕННЫХ ГЕОСИСТЕМ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ КОСМИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ

В статье рассмотрены возможности использования данных дистанционного зондирования для решения задач экологического мониторинга. Синтез космической и наземной информации позволяет исследовать состояние экосистем на территориях, подверженных антропогенному воздействию, в сравнении с состоянием природных геосистем.

This article is about the possibilities of using the remote sounding data for ecological monitoring. Synthesis of space and land-based information allow researching the state of ecosystems in areas under anthropogenic impacts in compare with the state of natural geosystems.

**Введение.** В настоящее время существует проблема ухудшения состояния растительности на территориях, расположенных вблизи крупных городов, промышленных районов, рекреационных зон. Антропогенное воздействие на природные комплексы оказывает негативное влияние на здоровье населения и наносит материальный ущерб лесному хозяйству.

Наиболее ярким индикатором антропогенного воздействия на геосистемы являются лесные экосистемы. Пригородные леса способны накапливать в себе загрязнители на длительный срок [1]. Последствия воздействия загрязнителей на функционирование экосистем могут быть определены визуально и с помощью аналитических методов.

**Основная часть.** При анализе состояния антропогенных геосистем в сравнении с природными основными причинами угнетения лесной растительности, присущими территориям, прилегающим к промышленным центрам и городам, являются:

- аэротехногенное загрязнение (выбросы промышленных предприятий и автотранспорта);
- строительство промышленных и жилых (садоводческие общества) объектов, развитие транспортных сетей;
- рекреационное лесопользование, приводящее к несанкционированным свалкам, лесным пожарам.

Перечисленные причины вызывают ослабление лесных фитоценозов. В результате лесные экосистемы становятся более уязвимы при воздействии природных стрессовых явлений, заболеваний и вредителей [2].

В неблагоприятных геохимических условиях изменения в состоянии растений затрагивают область их воспроизводства, приводя к серьезным нарушениям генеративной функции. С ростом загрязнения происходит снижение общей численности животных, меняется соотношение видов, сокращается биоразнообразие [3]. Снижается хозяйственная ценность леса.

В зависимости от формы и интенсивности воздействия в лесных экосистемах наблюдаются процессы перехода в состояние динамического равновесия, приспособления лесного сообщества к хозяйственной деятельности человека, утраты самостоятельности фитоценозов в результате замещения их антропогенными комплексами. Таким образом природные геосистемы переходят в антропогенные.

Основными индикаторами ухудшения состояния растительности в результате антропогенного воздействия на лесные экосистемы являются угнетение (усыхание), дефолиация, гибель деревьев, смена типов растительности, появление инвазивных видов [2]. Эти индикаторы позволяют определить ареал распространения промышленных выбросов и динамику состояния лесных экосистем.

Объектами исследований являются антропогенные геосистемы, к которым относятся природно-территориальные комплексы, подверженные основным видам загрязнений: выбросы, сбросы и отходы промышленных предприятий, сбросы и отходы жилищно-коммунальных хозяйств.

Для анализа состояния антропогенных геосистем выбраны территории, прилегающие к промышленным районам, оказывающим значительное воздействие на природную среду посредством эмиссий производств (в основном, выбросов) – лесные экосистемы, прилегающие к промышленным районам Новополоцка и Могилева (тестовые полигоны «Новополоцк» и «Могилев»).

При загрязнении природной среды промышленными предприятиями наиболее сильно поражаются леса, непосредственно примыкающие к промышленным районам. Согласно данным исследований по переносу и аккумуляции загрязнителей [4, 5] в фитомассе лесных экосистем, наибольшая концентрация полутантов отмечается в радиусе до 12–15 км (импактная зона), в меньшей степени они концентрируются в радиусе до 25–30 км (буферная зона),

и более или менее равномерное рассеивание – до 50–60 км (фоновый район). Внимание сосредоточено на территории распространения выбросов радиусом до 30 км (импактная и буферная зоны).

Для определения фоновых характеристик состояния лесной растительности объектами исследования выбраны природные геосистемы в районах минимального техногенного пресса. Такими районами являются особо охраняемые природные территории, где запрещена хозяйственная деятельность, способная нанести вред природным комплексам. Тестовыми полигонными (далее – ТП) являются природные геосистемы Национальных парков «Браславские озера» и «Нарочанский» (ТП «Браслав» и «Нарочь»). На начальном этапе исследуются заповедные зоны как наиболее «чистые». На последующих этапах производится оценка состояния лесной растительности и в других зонах национальных парков.

Выбранные антропогенные и природные ТП расположены на территориях, близких по природным условиям, и обеспечены данными наземного мониторинга.

С одной стороны, исследования опираются на наземные данные полевых исследований ГНУ «Институт экспериментальной ботаники им. В. Ф. Купревича НАН Беларуси» на ТП. В санитарно-защитной зоне г. Новополоцка в соответствии с методикой программы ICP Forest локальная сеть лесного мониторинга была заложена в 1992 г., данные на ней получают ежегодно. В зоне воздействия Могилевского промрайона исследования были проведены в 1999–2003 гг., получены данные по загрязнению лесных экосистем тяжелыми металлами.

С другой стороны, для оценки и прогнозирования динамики природных и антропогенных геосистем применяются в качестве источников информации о состоянии растительного покрова материалы космического дистанционного зондирования Земли. Для обработки и представления промежуточных и конечных результатов работы используются ГИС-технологии, которые позволяют координатно-ориентированно увязывать всю имеющуюся и получаемую информацию; выявлять и детально анализировать основные черты и особенности взаимодействия и взаимосвязей между компонентами геосистем как в пространственном, так и во временном разрезах.

Космическая информация соотносится с данными полевых исследований.

Возможность дешифрирования состояния растительного покрова на космических снимках обеспечивается зависимостью коэффициента спектральной яркости, который обуславливает визуальное и техническое восприятие информации на космическом снимке, от отражательной способности поверхности растений.

Отражательная способность, в свою очередь, является индикатором физиолого-морфологических изменений на хвое и молодых листьях, вызванных нарушением функций фотосинтезирующего и продуцирующего аппарата. Растения реагируют на изменения окружающей среды изменениями содержания пигмента, структуры мезофилла, а также изменениями свойств поверхности листьев и влагосодержания в них. Такая реакция растений всегда воздействует на свойства спектрального отражения и поглощения света их листвой и становится особенно очевидной, если экстремальным состоянием окружающей среды растения или их сообщества поставлены в неблагоприятные условия [6].

Под воздействием мощного техногенного воздействия и экстремальных климатических условий при многолетних наблюдениях отмечают смену коренных типов леса производными. Наиболее чувствительной породой к изменениям условий окружающей среды является ель (как и другие хвойные насаждения). На снимках хорошо дешифрируются хвойные и лиственные породы, что позволяет производить оценку динамики лесных экосистем и смену типов растительности дистанционными методами.

На текущем этапе изучены природные условия геосистем тестовых полигонов на основе координатно увязанных тематических карт – геологических, геоморфологических, климатических, почвенных, карт растительности и лесоустроительных планшетов. Проанализированы данные полевых исследований, предоставленные сотрудниками ГНУ «Институт экспериментальной ботаники им. В. Ф. Купревича НАН Беларуси», о текущем состоянии и динамике лесных насаждений ТП «Новополоцк» и «Могилев»: показатели степени дефолиации и индекс состояния древостоев.

На основе исходной тематической информации и данных наземного мониторинга в пределах антропогенных геосистем определены ключевые участки, отражающие основные виды воздействия антропогенного и природного происхождения.

Критериями подбора ключевых участков являлись:

- представительство наиболее распространенных в регионе формаций и типов леса;
- уровень загрязнения лесных фитоценозов комплексом техногенных металлов;
- уровень повреждения различными факторами антропогенного и природного происхождения (участки леса с подтоплениями различного происхождения, свалки мусора и участки с инвазивными видами растений).

В пределах природных геосистем подобраны ключевые участки, соответствующие по

лесотаксационным характеристикам ключевым участкам антропогенных геосистем.

С учетом указанных критериев на ТП «Новополюк» было подобрано 32 ключевых участка, на ТП «Могилев» – 19, на ТП «Браслав» – 6, на ТП «Нарочь» – 4.

Посредством системы ключевых участков состояние древостоев лесных экосистем природных и антропогенных геосистем идентифицируется на многозональных снимках высокого разрешения (размер пикселя не менее 30×30 м), синтезированных в каналах красной и ближней инфракрасной частей спектра. Для решения задач данного проекта используются разновременные космические снимки спутниковых систем Landsat 5 TM, Landsat 7 TM, RapidEye, ALOS (Prism), ALOS (Avnir).

Анализ космических изображений промрайонов и прилегающих к ним геосистем при соотнесении с данными полевых исследований позволяет создать эталонную базу данных для тематического дешифрирования состояния лесной растительности тестовых полигонов.

После дешифрирования состояния растительности ТП и отработки основных принципов работы системы оценки природных и антропогенных геосистем возможным станет осуществление общей оценки выбранных ТП и изучение возможностей применения системы на других территориях в пределах страны.

Разновременные космические снимки позволяют выявлять динамику загрязнения экосистем объектов исследования и осуществлять прогноз состояния лесной растительности.

**Заключение.** Разрабатываемая система оценки природных и антропогенных геосистем с использованием космической информации позволит оценить экологическое состояние геосистем и проследить динамику антропогенного воздействия на окружающую среду; прогнозировать развитие природно-территориальных комплексов и способствовать устойчивому управлению геосистемами.

Преимуществами использования дистанционных методов исследования для отслеживания негативных процессов в природных объектах является: доступность, оперативность, обзорность и объективная генерализация получаемой информации.

Следует отметить, что наземные данные для отслеживания динамики негативного влияния антропогенных эмиссий на экологическую обстановку требуют материальных затрат и времени. Изучение экологической специфики геосистем, прилегающих к промышленным районам, основанное на космических методах исследования, позволяет сократить общие расходы на проведение экологического мониторинга геосистем, т. к. стоимость единицы ин-

формации, необходимой для принятия решений об управлении природными ресурсами, в дистанционной системе ниже, чем в контактной.

Система оценки природных и антропогенных геосистем может применяться для:

- решения задач Национальной системы лесного мониторинга в рамках Национальной системы мониторинга окружающей среды (оперативное представление данных о скорости распространения и масштабах современных антропогенных изменений на пространствах между наземными станциями мониторинга);
- методики оценки ущерба природным средам в райгоринспекциях;
- методики оценки рисков промышленных предприятий с точки зрения воздействия на окружающую среду;
- планирования рационального ведения лесного хозяйства на территориях, прилегающих к промзонам крупных городов;
- картирования экологического состояния территорий, прилегающих к крупным городам.

В настоящее время проект находится в стадии разработки. Завершение проекта планируется на конец 2012 года.

### Литература

1. Взаимодействие растений с техногенно загрязненной средой. Устойчивость. Фитоиндикация. Оптимизация / И. И. Коршиков [и др.]. – Киев: Наукова думка, 1995. – 192 с.
2. Фондовые материалы: отчет о НИР «Продуктивность, устойчивость и биологическое разнообразие лесных экосистем в условиях современных изменений факторов среды» (заключ.). – 508 с. – № ГР 20011958 от 11.06.2001 г.
3. Ковальский, В. В. Геохимическая экология / В. В. Ковальский. – М.: Наука, 1974 г. – 289 с.
4. Груммо, Д. Г. Опыт фитоиндикации рассеяния тяжелых металлов в зоне влияния выбросов предприятий г. Могилева / Д. Г. Груммо, Н. А. Зеленкевич, И. В. Бернякович // Природные ресурсы. – 2004. – № 1. – С. 114–123.
5. Лянгузова, И. В. Мониторинг компонентов северотаежных экосистем при аэротехногенном загрязнении. Мониторинг и оценка состояния растительного мира: материалы международной научной конференции, Минск, 22–26 сентября 2008 г. / Институт экспериментальной ботаники им. В. Ф. Купревича НАН Беларуси. – Минск: Право и экономика, 2008. – 459 с.
6. Кронберг, П. Дистанционное изучение Земли. Основы и методы дистанционных исследований в геологии: пер. с нем. / П. Кронберг. – М.: Мир, 1988. – 343 с.; ил.

Поступила 14.04.2010