

УДК 528.8 (15):629.78

Использование космической информации для исследования экологического состояния городских агломераций

В. И. Лялько, А. Д. Федоровский, А. Н. Терemenko, А. Д. Рябокoнeнko

Центр аерокосмічних досліджень Землі Інституту геологічних наук НАН України, Київ

Надійшла до редакції 31.03.98

В роботі розглянуто можливості використання космічної інформації для контролю за станом міських агломерацій і прилеглих до них територій. Показано, що на космічних знімках в оптичному діапазоні спектру реєструється багато процесів і явищ, які важко спостерігати в наземних умовах. За допомогою дистанційних космічних методів можна отримувати інформацію як для оперативного використання, так і для розробки довгострокових прогнозів, планів розвитку міст і використання природних ресурсів.

Города являются частью природной среды, где процессы взаимодействия природы и человека наиболее активны. Интенсивный рост городов заставил экологов обратить серьезное внимание на изучение экологических последствий урбанизации. В связи с этим широкое распространение получили дистанционные, в том числе космические, методы контроля экологического состояния городских агломераций и прилегающих к ним территорий. С помощью космических снимков можно получать информацию как для оперативного использования в случае аварийных ситуаций и текущего контроля за экологическим состоянием исследуемых регионов, так и для разработки долгосрочных прогнозов, планов развития городов и использования природных ресурсов.

Космическая съемка местности позволяет производить естественную генерализацию изображений в широком диапазоне масштабного ряда. Снимки обзорного уровня с низким разрешением (сотни метров) используются при исследовании динамики развития городских агломераций, особенностей разме-

щения ландшафтно-функциональных зон, изучения особенностей и направления влияния техногенных факторов на окружающую среду исследуемого региона. Крупномасштабные снимки детального уровня с высоким разрешением (единицы метров) используются для изучения отдельных элементов городской структуры, характера влияния на окружающую среду экологически опасных техногенных объектов [1, 5].

При детальном изучении городских агломераций особый интерес представляют многозональные космические съемки, так как в узких спектральных зонах фиксируются разные компоненты окружающей природной среды. Компьютерная обработка материалов многозональной съемки, представленных в цифровом виде, позволяет анализировать состояние и динамику изменений городской экосистемы, получать цветные геоизображения и строить картографические модели.

Планируемый запуск (октябрь 1998 г.) украинско-российского спутника «Океан-О» с многозональной съемочной аппаратурой высокого и средне-



Рис. 1. Космический снимок Херсонской городской агломерации («Спот», 12.06.95)

то разрешения МСУ-В и МСУ-СК позволит наряду с зарубежными использовать отечественные материалы дистанционного зондирования Земли.

На космических снимках городских агломераций, выполненных в оптическом диапазоне спектра дешифрируются многие трудно регистрируемые в наземных условиях процессы и явления:

- определение зон геологических разломов — зон экологического риска в районе городских агломераций; тектонические разломы, локальные зоны неотектонических трещиноватостей с выделением особо опасных участков их пересечения;
- геоэкологическое районирование городских агломераций и прилегающих к ним территорий;
- техногенная нагрузка и нарушение санитарных зон вокруг промышленных предприятий;
- инвентаризация и контроль гидрографической и гидротехнической сети на пойменных и при-

пойменных районах урбанизации, прогнозирование зон техногенного подтопления;

- источники загрязнения водных объектов и атмосферы в районе городских агломераций и др.
- Космические снимки позволяют оперативно (в течение недели) получать необходимую информацию о состоянии ландшафтно-функциональных зон городской агломерации. Полученная информация служит материалом для обновления и составления крупномасштабных тематических карт, в которых испытывают нужду большинство коммунальных служб.

Так, на рис. 1 представлен космический снимок Херсонской городской агломерации, на котором с помощью ландшафтно-индикационного метода дешифрирования были выделены неотектонические нарушения (обозначены пунктирными линиями). Используемый метод дешифрирования заключается в определении по ландшафтным особенностям

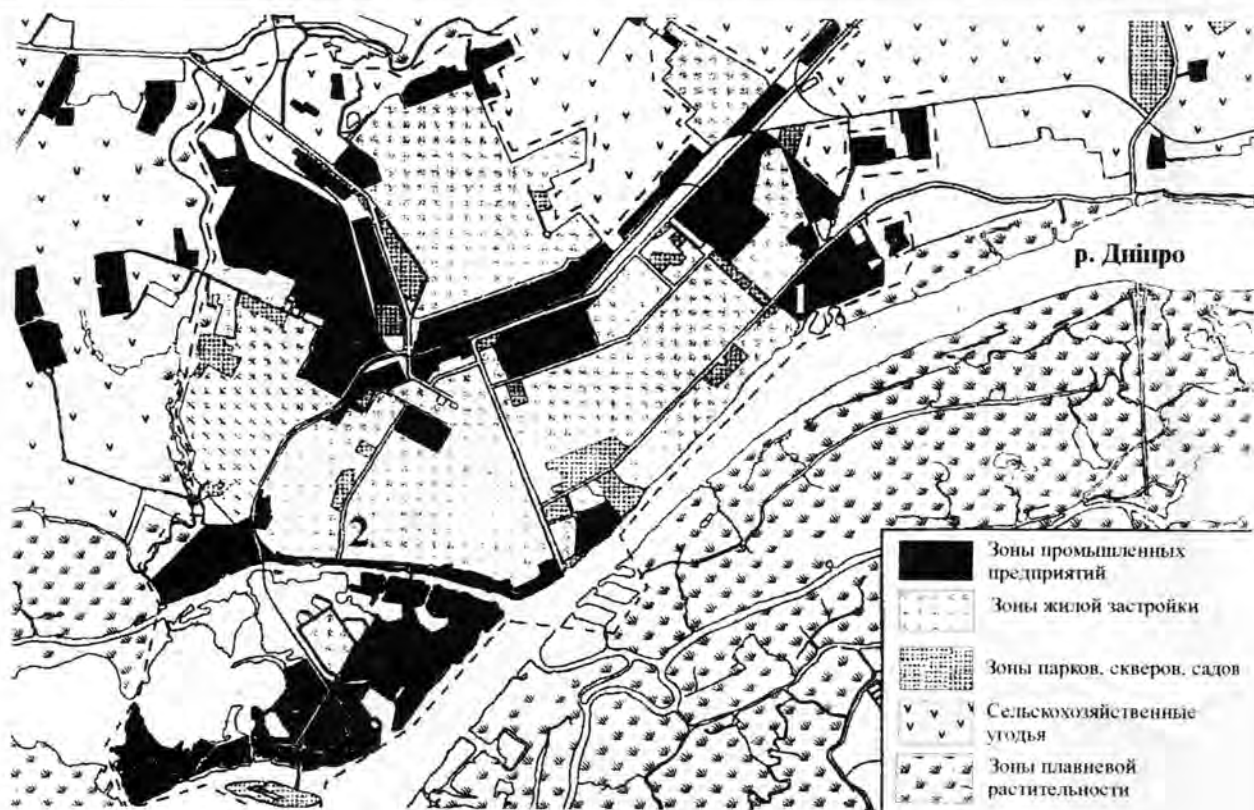


Рис. 2. Схема ландшафтно-функциональных зон Херсонской городской агломерации

поверхности мест наиболее дифференцированного рельефа (овраги, балки, оползни и др.), по которым осуществляется обнаружение и выделение на снимке линеаментов. По геолого-геофизическим материалам в этом районе были выделены региональные и локальные тектонические разломы (сплошные линии). Эффективность методики подтверждается совпадением выявленных линеаментов с геолого-геофизическими данными. Кроме того, использование космической информации позволяет прогнозировать наличие неотектонических разломов в местах, ранее не исследованных геофизическими методами.

Наиболее опасными в геоэкологическом отношении являются узлы пересечения неотектонических подвижек. На таких участках опасно вести значительное промышленное и жилое строительство. Из анализа рис. 1 видно, что на территории Херсона имеется ряд участков геоэкологического риска (узлы пересечений линеаментов), на которые необходимо обращать особое внимание при застройке и плановой реконструкции города.

Снимки из космоса и разработанные на их основе карты дают оперативную информацию о современ-

ном состоянии городской территории, ландшафтах и их взаимосвязи. При этом динамика развития городских структур определяется путем сравнения космических снимков, полученных в разные годы, а также на основе их совместного анализа с топографическими картами. Такие сравнения важны для выявления тенденций развития города и окружающей их территории, дают новую информацию о взаимодействии города и села, городских и сельских ландшафтов. В ряде случаев возможно выполнение градостроительного проекта непосредственно на космическом изображении, объективно отражающем состояние местности. Это позволяет с помощью соответствующих специалистов оперативно выполнить функциональное зонирование территории, выявить внутренние резервы города, оценить антропогенную нагрузку [4].

На карто-схеме (рис. 2), полученной на основе дешифрирования космических снимков с использованием специализированной системы обработки аэрокосмических изображений ERDAS IMAGINE, представлены ландшафтно-функциональные зоны Херсонской городской агломерации. Сопоставление рис. 1 и 2 позволяет проследить участки геоэколо-



Рис. 3. Космический снимок участка р. Днепр в районе Киева («Спот», 04.07.95)

гического риска в структуре городской агломерации. На рис. 2 отмечены участки геоэкологического риска, которые приходятся на промышленную зону (1) и жилой массив (2).

Не менее важное значение имеют материалы дистанционного зондирования для оценки состояния городской гидрофизической сети в районах усиленной урбанизации. Как известно, именно водные объекты, расположенные в пойме рек — озера, старицы, проливы, искусственные каналы и др., особенно в районах больших и малых городов играют важную роль не только в формировании ландшафта последних, создании зон рекреации для населения, но и в обеспечении функционирования гидрографической сети региона. Строительство и другие крупномасштабные работы в сочетании с неорганизованной рекреационной нагрузкой являются причиной не только усложнения экологической и санитарно-биологической ситуации в городах, но и способствуют увеличению случаев подтопления территорий или их осушения, а также

других неблагоприятных последствий нарушения гидрографической сети региона [6].

Анализ свидетельствует, что морфологические и морфометрические характеристики водоемов находят наиболее четкое отображение на космических снимках в спектральной области $\lambda\lambda$ 0.7—1.1 мкм [3]. К ним относят форму и площадь акватории, наличие островов, больших аккумулятивных образований: мелей, кос. Сравнительный анализ данных за разные годы позволяет оценить не только состояние гидрографической сети, но и следить за динамикой процессов подтопления и осушения поймы. Это, в свою очередь, позволяет выявлять негативные изменения, которые возникли под влиянием антропогенных воздействий и разработать пути их профилактики и устранения.

Информация о концентрациях и пространственном распределении загрязнений в городской гидрографической сети представляет значительный интерес для санитарно-эпидемиологических и коммунальных служб города. К числу основных источников загрязнений водной среды относятся выбросы очистных сооружений промышленных и коммунально-бытовых отходов, сельскохозяйственные и дренажные стоки, транспортное судоходство, гидротехнические работы.

Классификация зон загрязнений на космических снимках выполняется оператором-дешифровщиком по спектральной яркости и пространственно-структурным признакам с использованием комплексного подхода визуально-инструментальных и цифровых методов обработки информации.

Для установления корреляционных связей между спектральной яркостью загрязненной водной поверхности, измеренной в различных диапазонах спектра, и параметрами водной среды, полученными на контрольных станциях, используются методы регрессионного анализа. Известно, что спектральный коэффициент яркости водных масс, в которых есть неорганическая взвесь, плавно изменяется в спектральном интервале $\lambda\lambda$ 500—700 нм. Однако в интервале $\lambda\lambda$ 500—600 нм он зависит как от концентрации фитопланктона, так и от неорганической взвеси, тогда как в интервале $\lambda\lambda$ 600—700 нм преобладает влияние неорганической взвеси [2].

Аномальное отражение от водной поверхности в тех местах, где оно не совпадает с расположением островов и отмелей, вызвано наличием загрязнений, концентрация которых в поверхностном слое пропорциональна интенсивности отраженного сигнала, и следовательно, яркости водной поверхности. Применение системы классификации ERDAS IMAGINE, которая разбивает плотность тона изображения по градициям яркости (классам) и пред-



Рис. 4. Космический снимок южной части Днепропетровска («Спот», 26.06.95)

ставляет результат в виде цветокодированного изображения, позволяет выделить характерные особенности распределения загрязнений и наглядно представить гидроэкологическую ситуацию в регионе. Таким образом, дешифрирование КС водных объектов позволяет установить наличие загрязнений и оценить площадь их распространения, выявить крупные источники загрязнений, оценить динамику полей загрязнений во времени и пространстве.

На рис. 3 приведено изображение участка р. Днепр в районе Киева, полученное в результате классификации с использованием специализированной системы обработки аэрокосмической информации мультиспектрального снимка (спектральные каналы $\lambda\lambda$ 500—590; 610—680; 790—890 нм), полученного бортовой сканирующей аппаратурой спутника «Спот» (04.07.95). На классифицированном изображении видно, что на всем протяжении участка реки можно различить зоны, отражающие свет с разной интенсивностью (на рисунке различаются градациями яркости фототона).

Планирование землепользования в урбанизированных районах, прилегающих к большим городам, важно для нормального функционирования и взаимосвязи городов и смежных районов. Карты землепользования, составленные по космическим снимкам, могут быть применены для инвентаризации земель, для выявления изменений в структуре землепользования. Сравнительный анализ космических снимков, выполненных с разницей в не-

сколько лет, позволяют обнаружить антропогенные изменения за исследуемый период.

Космические снимки являются важным звеном в организации мониторинга за загрязнением атмосферы от городских промышленных объектов. В видимом и ИК-диапазоне спектра отчетливо обнаруживаются дымы от промышленных объектов, облака и дымка от рассеянного дыма, инверсионные струи от самолетов. Зоны загрязнений почв и растительности, связанные с осаждением аэрозольей из дымовых облаков промышленного происхождения, наиболее уверенно дешифрируются на снимках, полученных в зимний период при наличии снегового покрова, изменяя его альbedo. Обычно на фоне снежной поверхности они выделяются темным пятном неправильной формы, которое иногда приобретает форму вытянутого шлейфа, ориентированного по направлению ветра. В летний период индикаторами атмосферных загрязнений могут служить специфические заболевания древесной растительности, например, пораженных выбросами в атмосферу SO_2 , которые фиксируются дистанционными методами в видимом и ИК-спектральных диапазонах. На основе полученной таким путем информации создаются карты атмосферных загрязнений.

В качестве примера регистрации дымового загрязнения атмосферы приведено космическое изображение («Спот», 26.06.95) южной части Днепропетровска (рис. 4). На изображении, полученном путем синтезирования двух снимков в диапазонах $\lambda\lambda$ 500—590 и 610—680 нм, отчетливо наблюдается

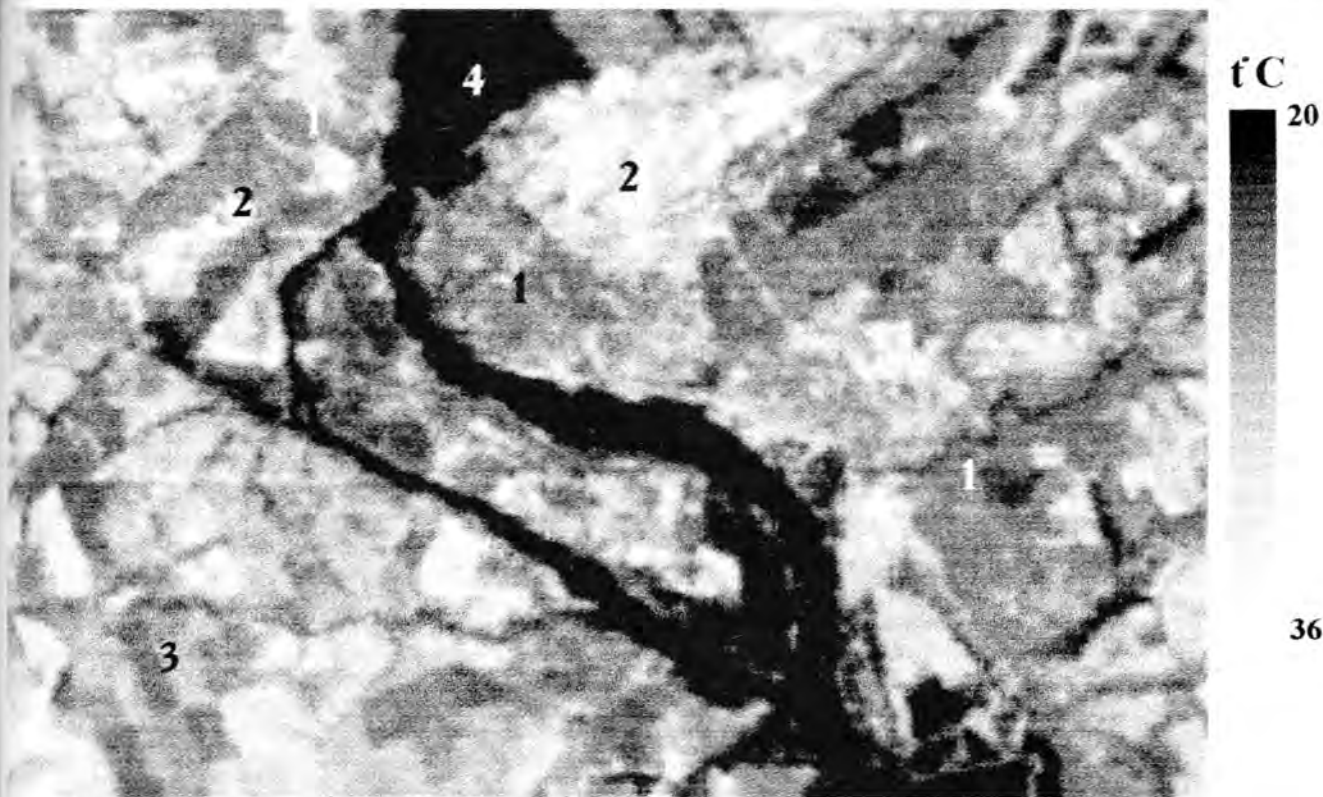


Рис. 5. Космический снимок Запорожья в тепловом ИК-диапазоне («Ландсат-ТМ»)

шлейф дыма от крупного промышленного объекта (указан стрелкой).

Одним из специфических видов воздействия городских агломераций на окружающую среду является тепловое загрязнение. Среднегодовые температуры воздуха в больших городах обычно на 1–2° выше по сравнению с окружающей территорией. Изучение тепловых полей с помощью космических снимков чрезвычайно важно для выявления тепловых аномалий на территории города, обнаружения промышленных выбросов в атмосферу, для оценки энерготеплового баланса города и выявления роли городов в общем тепловом нагреве атмосферы.

На рис. 5 приведен космический снимок территории города Запорожья, полученный со спутника «Ландсат-ТМ» в ИК-диапазоне $\lambda\lambda$ 8–12 мкм (23.08.91). На снимке различаются anomalно нагретые (светлые) участки территории города, которые контрастируют по плотности фототона с холодными (темные) участками. Различия тепловых режимов в разных частях города (контраст достигает до 5–8 °С) объясняются неравномерным распределением по территории промышленных выбросов в атмосферу, зелеными зонами, неодинаковыми из-

лучательными свойствами в ИК-диапазоне $\lambda\lambda$ 8–12 мкм различных городских объектов. Благодаря температурному контрасту на снимке дешифрируются жилые кварталы (1), промышленные объекты (2), сельскохозяйственные угодья (3), водные объекты (4).

Успешное использование космической информации для изучения городских агломераций требует проведения синхронных с дистанционными наземных измерений на тестовых участках (полигонах) с целью верификации результатов космических измерений и корректировки методик дистанционных исследований. В целях повышения информативности и достоверности дистанционных данных необходима разработка и создание аппаратуры дистанционного зондирования с высокой разрешающей способностью в наиболее информативных узких диапазонах электромагнитного спектра.

В настоящее время активно ведутся разработки новых технологий получения и обработки материалов космических съемок, создание геоинформационных систем и баз данных различного тематического содержания на крупные промышленные центры Украины, дальнейшее всестороннее методиче-

ское обоснование космических методов зондирования в комплексе картографического моделирования городских экосистем.

1. Григорьев А. А. Города и окружающая среда (космические исследования). — М.: Мысль, 1982.—120 с.
2. Кондратьев К. Я. Развитие космического дистанционного зондирования в США: итоги разработок за 1994-й финансовый год // Исслед. Земли из космоса.—1996.—№ 2.—С. 118—123.
3. Кондратьев К. Я., Поздняков Д. В. Новое в дистанционном зондировании окружающей среды // Исслед. Земли из космоса.—1996.—№ 1.—С. 107—121.
4. Красовская О. В., Скатырщиков С. В. Цифровые космические изображения SPOT в разработке градостроительных информационных систем // ГИС обозрение. — М., 1996.—С. 40—43.
5. Лялько В. И., Вульфсон Л. Д., Жарый В. Ю. и др. Аэрокосмические методы в геоэкологии. — Киев: Наук. думка, 1992.—206 с.
6. Лялько В. И., Федоровский А. Д., Сиренко Л. Я. та ін.

Україна з космосу (Атлас дешифрованих знімків території України з космічних апаратів) // Додаток до журналу «Космічна наука і технологія».—1997.—3, № 3/4.—С. 40—49.

USE OF SPACE INFORMATION FOR THE MONITORING OF ECOLOGICAL SITUATION IN URBAN AGGLOMERATIONS

**V. I. Lyal'ko, A. D. Fedorovskiy,
A. N. Teremenko, and A. D. Ryabokononko**

The possibility of using space information for the monitoring of ecological situation in urban agglomerations and suburbs is considered. It is shown that space images in the optical range provide information about some processes and phenomena which are not detectable in ground-based observations. The space methods of remote sensing give information for routine monitoring as well as for long-term forecasts, urban development planning, and utilization of natural resources.