

## Автоматизированная информационная система мониторинга изменений на основе космических снимков

Г.А. Кочергин<sup>1</sup>, А.С. Зыков<sup>1</sup>, А.Л. Царегородцев<sup>1</sup>, Н.В. Горлов<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Югорский НИИ информационных технологий (Ханты-Мансийск, Россия)

<sup>2</sup>Алтайский государственный университет (Барнаул, Россия)

## Automated Information System for Monitoring Changes Based on Satellite Images

G.A. Kochergin<sup>1</sup>, A.S. Zykov<sup>1</sup>, A.L. Tsaregorodcev<sup>1</sup>, N.V. Gorlov<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Ugra Research Institute of Information Technologies (Khanty-Mansiysk, Russia)

<sup>2</sup>Altai State University (Barnaul, Russia)

Освещено решение актуальной проблемы, которая заключается в разработке автоматизированной информационной системы экологического мониторинга антропогенных изменений окружающей среды на основе космических снимков, позволяющей агрегировать информацию о выявленных изменениях на местности, проводить анализ тенденций развития основных природных или техногенных опасностей, а также предоставлять сводную информацию об изменениях на местности за произвольный период времени. Предложена концептуальная модель использования данной системы, в основе которой лежат технологии обработки и тематического анализа космических снимков с целью выявления нефтезагрязнений на почве, лесных рубок и гарей, подтопления и заболачивания территорий, деградации лесного фонда. Кроме того, проведение комплексного анализа всех доступных пространственных данных, в том числе космических снимков, аэрофотосъемки, векторных данных, результатов натурных измерений, позволит получить сводную информацию об изменениях на местности за произвольный период времени.

Отличительной особенностью от доступных в настоящий момент решений на рынке является предоставление онлайн-доступа к результатам обработки и анализа космических снимков по различным темам всем авторизованным пользователям.

**Ключевые слова:** автоматизированная система, концептуальная модель, тематический анализ космических снимков, экологический мониторинг, охрана окружающей среды.

DOI 10.14258/izvasu(2017)1-18

**Введение.** В настоящее время существует большое количество геопортальных решений, отображающих с использованием космических снимков реальное по-

The paper deals with the development of an automated information system (AIS) for ecological monitoring of anthropogenic environment changes based on space images. The AIS allows to accumulate data on detected changes, analyze development trends of natural and anthropogenic perils, and provide information about environmental changes over a certain period of time. The paper presents the conceptual model of the AIS based on technologies of processing and thematic analysis of space images for detection of oil contaminated soils, forest fells and fires, area flooding and waterlogging, forest resources deterioration. Also, the comprehensive analysis of available spatial data, including space images, aerial survey, vector data and field measurements provides substantial foundation for collection and accumulation of extensive information about environmental changes over a certain period.

The difference between commercially available solutions and the proposed AIS is in provision of online access to results of processing and analysis of space images of different categories to authorized users.

**Key words:** automated system, conceptual model, thematic analysis

ложение природных и техногенных объектов, которые, тем не менее, не позволяют посмотреть историю любой точки или области и представить сводную ин-

формацию о произошедших изменениях за произвольный период времени. Это связано, с одной стороны, с огромным количеством накопленных разнородных данных дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ), содержащих многократное покрытие одной и той же территории, но с различными пространственными и спектральными характеристиками. С другой стороны, серьезные ограничения накладывают современные программные и аппаратные средства, не позволяющие в удобном для пользователя виде представлять информацию посредством открытых каналов связи.

Цель данной работы заключается в создании и описании концептуальной схемы автоматизированной информационной системы (далее АИС) экологического мониторинга антропогенных изменений окружающей среды на основе космических снимков, позволяющей агрегировать информацию о выявленных изменениях на местности, проводить анализ тенденций развития основных природных или техногенных опасностей, а также предоставлять сводную информацию об изменениях на местности за произвольный период времени.

Актуальность данной работы состоит в возможности получения новых знаний по экологическому мониторингу антропогенных изменений окружающей среды на основе космических снимков за счет использования агрегированной информации о выявленных изменениях на местности.

**Основные задачи экологического мониторинга с использованием космических снимков.** Ханты-Мансийский автономный округ — Югра (ХМАО) является одним из крупнейших регионов России, при этом, как и в большинстве северных регионах нашей страны, здесь очень слабо развита коммуникационная инфраструктура, что существенно ограничивает возможности непосредственного наблюдения за экосистемами региона. В сложившейся ситуации для осуществления контроля за экологическим состоянием окружающей среды на большой и зачастую труднодоступной территории наиболее эффективным является использование средств космического мониторинга [1-2].

Эффективность любой системы экологического мониторинга на основе данных ДЗЗ характеризуется степенью автоматизации дешифрирования космических снимков и достоверностью результатов дешифрирования [3]. Задача автоматизации процессов обработки и анализа космических снимков решена для достаточно обширного класса задач: выявление очагов пожаров [4], выделение водных и техногенных объектов [5-6], классификация породного состава лесов [7], мониторинг снежного покрова и облачности [8-9]. Для решения других задач тематического анализа космических снимков (например, дешифрирование нефтезагрязнений [10-11], лесных рубок [12], термокарстовоопасных участков [13]) проводится

разработка автоматизированных систем, в которых одним из важнейших этапов является верификация результатов дешифрирования и ключевую роль занимает экспертная оценка результатов анализа космических снимков [14].

В настоящее время существуют разработки, позволяющие выявлять структурные изменения на местности по паре разновременных космических снимков [15], которые, тем не менее, не позволяют сделать выводов о характере изменений. С другой стороны, как показал обзор современных технологий обработки и анализа космических снимков, задача полной автоматизации дистанционного экологического мониторинга решена лишь для какой-то одной конкретной тематики, в то время как решения, позволяющие комплексно анализировать все доступные космические снимки, в настоящий момент не разработаны.

**Описание алгоритмов обработки и анализа космических снимков.** В Югорском НИИ информационных технологий (ЮНИИ ИТ) разработаны алгоритмы обработки и тематического анализа космических снимков, которые используются с целью мониторинга состояния окружающей среды по актуальным для Ханты-Мансийского автономного округа направлениям, а именно выявление нефтезагрязнений на почве, мониторинг действующих факельных установок по сжиганию попутного нефтяного газа, контроль лесных рубок и гарей, наблюдение за паводковой обстановкой и изменениями береговых линий вследствие активных русловых процессов. Рассмотрим более подробно каждый автоматизированный в ЮНИИ ИТ процесс обработки и анализа космических снимков.

**Выявление и картографирование лесных вырубок.** Мониторинг рубок лесных насаждений проводится преимущественно по космическим снимкам, полученным в период устойчивого снежного покрова, который для нашего региона продолжается с ноября по апрель. Для решения данной задачи нами разработан алгоритм выявления лесных вырубок, который основан на анализе изменений подстилающей поверхности путем сравнения двух разновременных космических снимков Landsat 8. Для этого формируется мультиспектральное изображение, состоящее из панхроматических каналов с диапазоном длин волн 0,5-0,68 мкм и пространственным разрешением 15 м, снятых за разные даты в зимний период. Все изменения на местности, произошедшие за период времени между съемками, будут отчетливо выделяться ярко-красным цветом на построенном разновременном композите. Это связано с тем, что на космическом снимке яркость пикселей леса имеет низкие значения, а снега — высокие, и при появлении вырубки спектральная яркость соответствующей территории значительно повышается. Понижения яркости пикселей, напротив, отражаются синими тонами (тени от облаков, расчищенные участки оголенной земли и т.д.).

**Выявление и картографирование выгоревших участков леса.** Для выявления и картографирования лесных гарей используется разработанный нами алгоритм автоматизированной обработки космических снимков, основанный на использовании нормализованного индекса сгорания — NBR (Normalized Burn Ratio) [16]. В качестве исходных данных для расчета NBR используются ближний инфракрасный и ближний коротковолновый инфракрасный каналы летних космических снимков Landsat 8 с диапазонами длин волн 0,845-0,885 мкм и 2,1-2,3 мкм соответственно. Выбор этих каналов обусловлен тем, что ближний инфракрасный канал позволяет оценить содержание хлорофилла в живой растительности, в то время как дальний инфракрасный канал чувствителен к отдельным нефотосинтезирующим (мертвым) деревьям, золе и обугленной древесине на пожарищах. Таким образом, использование NBR позволяет проследить изменения подстилающей поверхности от живой вегетирующей растительности к такому состоянию подстилающей поверхности, которое возникает после пожара.

**Картографирование факельных установок для сжигания попутного нефтяного газа.** Выявление и картографирование факельных установок для сжигания попутного нефтяного газа проводится с использованием разработанного нами алгоритма автоматической обработки и анализа космических снимков Landsat 8. В основе алгоритма лежит процедура пересчета спектральных яркостей инфракрасных каналов — ближнего инфракрасного (0,845-0,885 мкм), ближнего коротковолнового инфракрасного (2,1-2,3 мкм) и дальнего инфракрасного (11,5-12,5 мкм) с целью выявления пикселей открытого пламени, определения местоположения и картографирования их контура. Разработанный алгоритм в автоматическом режиме обнаруживает места с аномальными температурами, которые могут быть идентифицированы как пожары, а в случае многократного повторного обнаружения (два раза и более) в одном и том же месте их можно идентифицировать как факельные установки для сжигания попутного нефтяного газа или другие неподвижные техногенные объекты с высокотемпературными выбросами.

**Выявление и картографирование участков нефтезагрязнений.** Для выявления нефтезагрязнений на почве используются мультиспектральные космические снимки среднего и высокого пространственного разрешения за летний период с российских и зарубежных спутников ДЗЗ. Дешифрирование нефтезагрязнений проводится с использованием разработанной нами методики на основе автоматизированной классификации космических снимков с использованием обучающих выборок с последующей экспертной фильтрацией полученного результата. Для выборочной верификации дешифрированных по космическим

снимкам нефтезагрязнений проводятся полевые заверочные работы, в ходе которых экспертом на местности проводится визуальный осмотр участка территории, выявленного как нефтезагрязнение.

**Оперативный мониторинг паводковой обстановки.** Для решения задач спутникового мониторинга рек Обь-Иртышского бассейна в период весенне-летнего половодья используются космические снимки низкого пространственного разрешения MODIS со спутников TERRA и AQUA. Нами разработан алгоритм, позволяющий ежедневно в автоматическом режиме проводить классификацию мультиспектральных снимков MODIS с пространственным разрешением 250 м с целью выделения облачности, снежного покрова и водной поверхности на всей территории нашего региона. Результаты классификации снимков MODIS дополняются результатами классификации снимков более высокого пространственного разрешения (30 м) Landsat 8 в случае наличия таких снимков на зону подтопления.

**Анализ изменения береговых линий вблизи населенных пунктов.** Для решения задач анализа изменений береговых линий используются разновременные архивные и актуальные космические снимки высокого пространственного разрешения. Нами разработана технология анализа космических снимков, которая позволяет выявлять места активных русловых процессов вблизи населенных пунктов автономного округа, расположенных на реках Обь и Иртыш, и оценивать масштаб и скорость разрушения береговой линии. Технология основана на использовании космических снимков с пространственным разрешением не хуже 1 м.

**Разработка концептуальной схемы АИС.** Опыт проектирования и разработки распределенных АИС [17-20] показал, что наиболее оптимальным является модульная архитектура построения АИС. Использование модульного подхода при создании АИС обеспечивает взаимозаменяемость отдельных решений системы. Кроме того, ключевой особенностью выбранного подхода является возможность выборочной компоновки АИС, а также многократное использование однажды написанного кода и разработанных классов.

Существует три класса методологий проектирования АИС:

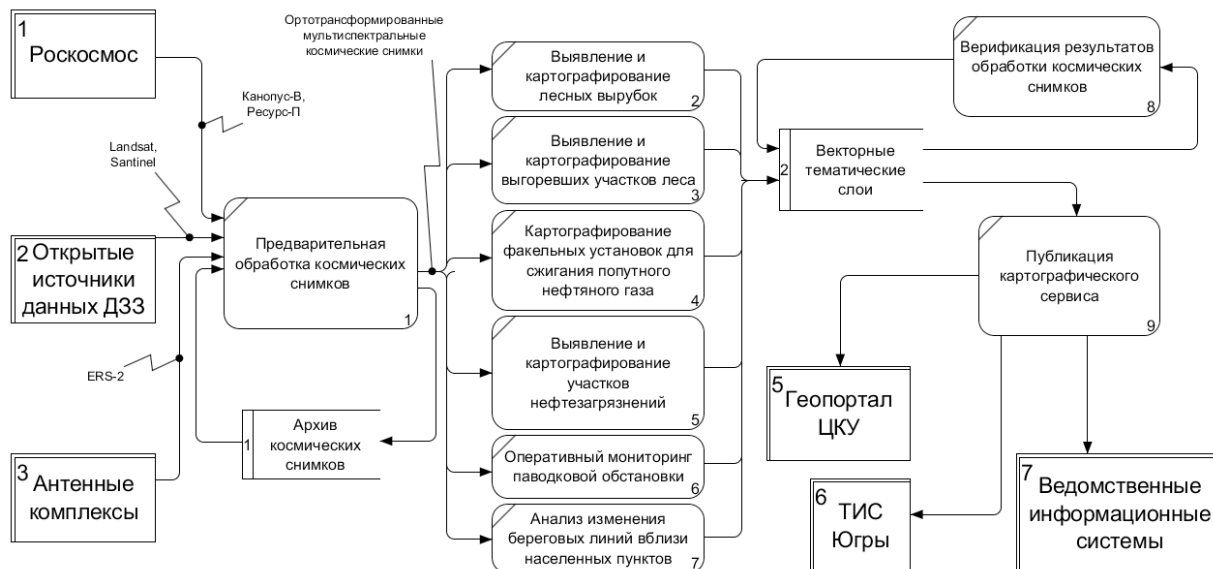
1. Концептуальное моделирование использования АИС.
2. Определение требований к АИС.
3. Разработка архитектуры программных средств АИС.

Проектирование АИС начинается с создания концептуальной схемы использования системы, которая описывает: процессы, накопители данных, внешние сущности и потоки данных, функционирующие в АИС. После создания концептуальной схемы определяют требования к системе, формулируя ее кон-

кретные функции и определяя задачи, подлежащие автоматизации.

В основе разрабатываемой системы экологического мониторинга, концептуальная схема которой представлена на рисунке, лежат источники разновре-

менных космических снимков различного пространственного разрешения, с использованием которых проводится выявление ландшафтных изменений природного или техногенного характера за длительный период времени.



Концептуальная схема АИС экологического мониторинга антропогенных изменений окружающей среды

В настоящее время в ЮНИИ ИТ на регулярной основе поступают данные с российских спутников «Метеор-М», «Канопус-В» и «Ресурс-П». Другим источником открытых данных ДЗЗ является Национальное управление по воздухоплаванию и исследованию космического пространства США, являющееся оператором действующего космического аппарата Landsat 8 и предоставляющее онлайн-доступ к полному архиву космических снимков серии Landsat начиная с 1972 года. Кроме того, в ЮНИИ ИТ накоплен большой архив космических снимков с российских и зарубежных космических аппаратов. Большая часть из них была получена и обработана в период 2003-2011 гг. на антенные комплексы. В настоящее время в архиве находится более 200 тысяч оптических и радиолокационных космических снимков.

Перед непосредственным использованием данных ДЗЗ с целью выявления каких-либо объектов проводится их предварительная обработка, которая заключается в ортотрансформировании, спектрсовмещении и паншарпенинге космических снимков. После чего проводятся тематическая обработка и анализ космических снимков по определенному на-

правлению. Результатом анализа космических снимков являются тематические векторные слои, которые пригодны для публикации в виде картографического электронного сервиса и отображения на различных интернет-ресурсах, таких как геопортал ЮНИИ ИТ, Территориальная информационная система ХМАО или иные ведомственные информационные системы.

**Заключение.** Таким образом, разработанная концептуальная схема (см. рисунок) является первым этапом создания автоматизированной информационной системы экологического мониторинга антропогенных изменений окружающей среды на основе космических снимков, позволяющей агрегировать информацию о выявленных изменениях на местности, проводить анализ тенденций развития основных природных или техногенных опасностей, а также предоставлять сводную информацию об изменениях на местности за произвольный период времени.

В дальнейшем нами будут определены требования к системе, сформулированы ее конкретные функции и описаны задачи подлежащие автоматизации, после чего будет реализован последний этап — разработка самой системы.

## Библиографический список

1. Копылов В.Н., Кочергин Г.А., Полищук Ю.М., Хамедов В.А. Использование данных ДЗЗ при решении региональных задач рационального природопользования // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. — 2009. — Вып. 6, т. 1.
2. Кочергин Г.А., Полищук Ю.М. Информационно-программный комплекс для анализа пространственных данных с использованием алгоритмов автоматической кластеризации // Системы управления и информационные технологии. — 2010. — № 3.
3. Замятин А.В., Марков Н.Г. Анализ динамики земной поверхности по данным дистанционного зондирования Земли. — М., 2007.
4. Брыксин В.М., Евтюшкин А.В., Еремеев А.В., Макеева М.А., Хамедов В.А. Автоматизированная система спутникового мониторинга пожарной обстановки в технологических коридорах трубопроводов и лесах ХМАО // Оптика атмосферы и океана. — 2009. — Т. 22, № 1.
5. Кочергин Г.А., Куприянов М.А., Хамедов В.А. Применение космических технологий в задачах мониторинга водохозяйственного комплекса Ханты-Мансийского автономного округа // Применение космических технологий для развития арктических регионов : сборник тезисов докладов Всерос. конф. с междунар. участием / сост. С.В. Рябченко, Л.В. Соколова. — Архангельск, 2013.
6. Кочергин Г.А., Куприянов М.А. Обнаружение факельных установок на территории ХМАО — Югры с использованием космических снимков Landsat 8 // Материалы XIV конф. молодых специалистов, работающих в организациях, осуществляющих деятельность, связанную с использованием участков недр на территории ХМАО — Югры. — Новосибирск, 2014.
7. Копылов В.Н., Полищук Ю.М., Сугаипова А.Н., Шимов С. В., Хамедов В.А. Создание карты лесов Ханты-Мансийского округа на основе космических снимков среднего разрешения // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. — 2009. — Т. 2.
8. Воробьева М.В., Охоткина Е.А., Сухинин А.И. Космический мониторинг снегового покрова Сибири по данным радиометра MODIS // Вестник Сибирского гос. аэрокосмического ун-та им. акад. М.Ф. Решетнева. — 2011. — № 4 (37).
9. Дмитриев А.В., Дмитриев В.В. Аппроксимационный алгоритм картирования снежного покрова по спутниковым данным // Актуальные вопросы современной науки. — 2014. — № 36.
10. Брыксина Н.А., Копылов В.Н., Кочергин Г.А., Хамедов В.А. Дистанционный экологический контроль мест добычи и транспортировки нефти // Контроль и реабилитация окружающей среды : материалы VI междунар. симпозиума. — Томск, 2008.
11. Князьков А.С., Мазуров Б.Т., Хамедов В.А. Опыт использования космических снимков с космических аппаратов типа «Канопус-В» и «БКА» для обнаружения участков нефтяных загрязнений на месторождениях Западной Сибири // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. — 2016. — Т. 13, № 1.
12. Кантемиров Ю.И., Бахтинова Е.В., Соколов А.Ю., Никольский Д.Б. Полуавтоматическое выявление вырубок леса на мультитременных радарных и радарно-оптических цветных композитах // Геоматика. — 2012. — № 1.
13. Bryksina N., Polishchuk Yu., Kirpotin S. Remote study of thermokarst lake dynamics in West-Siberian permafrost // Permafrost: Distribution, Composition and Impacts on Infrastructure and Ecosystems Editors: Oleg S. Pokrovsky (CNRS, Toulouse, France and Tomsk State University, Russia). New York. — 2014.
14. Барталев С.А., Беляев А.И., Егоров В. А., Ершов Д.В., Коровин Г.Н., Коршунов Н. А., Котельников Р. В., Лупян Е.А. Валидация результатов выявления и оценки площадей поврежденных пожарами лесов по данным спутникового мониторинга // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. — 2005. — Вып. 2.
15. Бровко Е.А., Кандоба И.Н., Корнилов Ф.А., Первалов Д.С. Оперативный мониторинг структурных изменений изображений объектов на космических снимках земной поверхности // Программные продукты и системы. — 2015. — №1(109).
16. Escuin S., Navarro R., Fernandez P. Fire severity assessment by using NBR (Normalized Burn Ratio) and NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) derived from LANDSAT TM/ETM images [Электронный ресурс]. — Режим доступа: [http://www.mtbs.gov/pdf/Escuin\\_Navarro\\_et\\_al\\_2008\\_BS\\_NBR\\_NDVI\\_Spain.pdf](http://www.mtbs.gov/pdf/Escuin_Navarro_et_al_2008_BS_NBR_NDVI_Spain.pdf)
17. Царегородцев А.Л. Эффективность использования телемедицины в северных регионах российской федерации // Фундаментальные исследования. — 2016. — № 3-2.
18. Дулинец В.И., Царегородцев А.Л. Использование результатов космической деятельности в региональных информационных системах в целях поддержки принятия управленческих решений // Решетневские чтения. — 2013. — Т. 2. № 17.
19. Царегородцев А.Л. Особенности хранения и передачи частично структурированной медицинской информации в АИС // Вестник Новосибирского гос. ун-та. Серия: Информационные технологии. — 2010. — Т. 8. № 2.
20. Карташев Е.А., Царегородцев А.Л. Автоматизированная информационная система поиска и анализа информации в сети Интернет // Фундаментальные исследования. — 2016. — № 10 (ч. 2).