

on microalgae cells for determination of heavy metals and herbicides in aqueous systems // Patent RF 2 426 779 S1. 2001. (in Russian).

55. Cybulskij E.I., Sazykina M.A. New biosensors for monitoring toxicity of the environment based on marine luminescent bacteria // *Prikladnaya Biokhimiya i Mikrobiologiya*. 2010. T. 46. No. 5. P. 1–6 (in Russian).

56. Yudina N.Yu., Arlyapov V.A., Zaytseva A.S., Reshetilov A.N. Influence of the time of cultivation, the composition of the investigated samples and the conditions of analysis on the oxidative activity of the yeast *Debaryomyces hansenii* // *Izvestiya Tul'skogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya "Estestvennye nauki"*. 2012. No. 3. P. 186–197 (in Russian).

57. Raud M., Tutt M., Jogi E., Kikas T. BOD biosensors for pulp and paper industry wastewater analysis // *Environmental Science and Pollution Research*. August 2012. V. 19. No. 7. P. 3039–3045.

58. Afonina E.L., Ponamoreva O. N., Kamanina O.A., Stroitelev V.V. BOD-biosensor based on encapsulated organosilicate matrix of yeast *Debaryomyces hansenii* // *Aktualnaya Biotekhnologiya*. 2015. No. 3(14). P. 66–67 (in Russian).

59. Rybochkin P.V., Afonina E.L., Kamanina O.A., Ponamoreva O.N. Perspective of using yeast *Debaryomy-*

ces hansenii BKM Y-2482 encapsulated in sol-gel matrix of silica gel for determination of BOD // *Ekologiya rodnogo kraja: problemy i puti ih resheniya: Materialy XIV Vserossijskoj nauchno-prakticheskoy konferencii s mezhdunarodnym uchastiem*. Kirov, 2016. P. 112–115 (in Russian).

60. Arlyapov V.A., Melnikov P.V., Yudina N.Yu., Zaytsev N.K., Alferov V.A., Reshetilov A.N. Amperometric biosensor analyzer for rapid determination of biochemical oxygen consumption // *Biomedicinskaya Radioelektronika*. 2016. No. 10. P. 69–78 (in Russian).

61. Kuvichkina T.N., Voronova E.A., Piyasov P.V., Kitova A.E., Emelyanova E.V., Reshetilov A.N. Biosensor for determination of water pollution by organic substances // Patent for Utility Model RUS 73975. 2007. (in Russian).

62. PND FT 14.1:2:3:4.11-04. PND FT 16.1:2:3:3.8-04. Method for determining integrated toxicity of surface, including marine, groundwater, drinking, sewage water extracts of soil, waste, sewage sludge by changing the intensity of bacterial bioluminescence test system "Ecolum". Moskva, 2010. (in Russian).

63. Rogozhin V.V., Rogozhina T.V. Biosensors and biochips: sensors of the present and future biotechnologies // *Sovremennaya nauka: teoriya i praktika*. 2015. No. 1(8). P. 74–89 (in Russian).

УДК 528.88

Аэрокосмические методы в системе геоэкологического мониторинга природно-техногенных территорий

© 2017. Т. А. Адамович¹, к. г. н., доцент,
Т. Я. Ашихмина^{1,2}, д. т. н., профессор, зав. кафедрой, зав. лабораторией,

¹ Вятский государственный университет,
610000, Россия, г. Киров, ул. Московская, 36,

² Институт биологии Коми научного центра Уральского отделения РАН,
167982, Россия, г. Сыктывкар, ул. Коммунистическая, 28,
e-mail: ttjnadamvich@rambler.ru

Обсуждается применение аэрокосмических методов в геоэкологическом мониторинге природно-техногенных территорий. Разработана структурно-функциональная схема аэрокосмической компоненты комплексного экологического мониторинга, которая включает блоки: исходной информации (аэрофотоснимки и космические снимки), радиометрической и геометрической коррекции космоснимков, дешифрирования аэрофотоснимков и космических снимков, а также блок наземных наблюдений. Разработан модуль системы геоэкологического мониторинга природно-техногенного комплекса для территории в районе Кирово-Чепецкого промышленного комплекса, содержащий методы аэрокосмического мониторинга с использованием многозональных космических снимков в сочетании с наземными наблюдениями. Применение данного модуля позволит делать более достоверную оценку состояния как природных, так и природно-техногенных систем и объединит усилия различных служб, ведомств, предприятий в контроле состояния объектов окружающей среды и в осуществлении мер по снижению антропогенной нагрузки на природные среды и объекты.

Предложенные современные методы и технологии геоэкологической оценки, прогноза и мониторинга природно-техногенного комплекса с включением аэрокосмических методов в районе промышленного объекта могут быть рекомендованы для разработки программ и создания систем геоэкологического мониторинга других территорий, в том числе, особо охраняемых природных территорий.

Ключевые слова: аэрокосмический метод, геоэкологический мониторинг, природно-техногенные территории, космические снимки.

Aerospace methods in the system of geo-ecological monitoring of natural and anthropogenic areas

T. A. Adamovich¹, T. Ya. Ashikhmina^{1,2},

¹Vyatka State University,

36 Moskovskaya St., Kirov, Russia, 610000,

² Institute of Biology of Komi Scientific Center of the Ural Branch of RAS,

28 Kommunisticheskaya St., Syktyvkar, Russia, 167982,

e-mail: ttjnadamvich@rambler.ru

Application of aerospace methods in the system of geo-ecological monitoring of natural and anthropogenic areas is discussed. The structurally functional scheme of aerospace components of complex ecological monitoring is developed, which has the following blocks: initial information (aerial photographs and space pictures), radiometric and geometrical correction of satellite images, interpretation of aerial photographs and space pictures, and a block of land observations. The module of the system of geo-ecological monitoring of a natural and technogenic complex for the territory around the Kirovo-Chepetsk industrial complex, containing methods of aerospace monitoring with the use of polyzonal space pictures in combination with land observations, is developed. The use of this module will allow making a more reliable assessment of the state of both natural and nature-technogenic systems and will combine efforts of various services, departments, enterprises in control of the state of objects of the environment and in taking measures of decreasing the anthropogenous load on environment and its objects.

The offered modern methods and technologies of geoecological assessment, the forecast and monitoring of a natural and technogenic complex with inclusion of aerospace methods around an industrial facility can be recommended for development of programs and creation of systems of geo-ecological monitoring of other territories, including, especially of protected natural territories.

Keywords: aerospace method, geo-ecological monitoring, natural and anthropogenic areas, satellite images.

Аэрокосмический мониторинг как сложный технологический комплекс включает в себя наземные, воздушные и космические технологии и системы. Главная черта аэрокосмического мониторинга – глобальная оперативность [1]. Его методы позволяют быстро выявлять изменения окружающей среды, оценивать динамику и качество изменений и изучать взаимодействие природных и техногенных систем [2].

Изменения, вносимые человеком в окружающую среду (ОС), и экологические эффекты, связанные с его деятельностью, имеют как региональный, так и глобальный характер. Без применения аэрокосмических методов невозможно своевременно выявить, проследить динамику природного комплекса, дать полную картину происходящих изменений в ОС. В настоящее время эффективно решить такую сложную задачу можно лишь единственным способом: регулярной съёмкой земной поверхности с самолётов и спутников, то есть аэрокосмическими методами геоэкологического мониторинга.

Для проведения геоэкологического мониторинга трансформированных территорий в перечень показателей мониторинга необходимо включать специфические для данного производства загрязняющие вещества; оптимальную сеть мониторинга с учётом

топографических особенностей местности; современные методы анализа, информационного обеспечения, обобщения и оценки состояния природного комплекса. Важной составляющей создаваемой системы мониторинга является её организационное обеспечение.

В данной работе рассмотрены подходы, технологии и методы разработки программы и организации системы геоэкологического мониторинга с использованием аэрокосмических методов на примере природно-техногенного комплекса в районе предприятий Кирово-Чепецкого промышленного комплекса (КЧПК).

Кирово-Чепецкий промышленный комплекс является одним из крупнейших промышленных объектов России. В его составе действуют предприятия по производству фторполимеров и минеральных удобрений. За годы деятельности промышленных объектов КЧПК природный комплекс в районе его эксплуатации под воздействием техногенного загрязнения сильно преобразован и представляет собой нарушенную природно-техногенную систему, сформировавшуюся вследствие сброса стоков предприятий, воздействия выбросов, складирования отходов производства, нарушения ландшафта при строительстве и эксплуатации объектов. На территории комплекса находятся шламонакопители и хвостохранилища, содер-

жащие большое количество токсичных, ртуть-содержащих, радиоактивных отходов. Хранилища отходов производства расположены в 1,5 км от селитебной зоны г. Кирово-Чепецка, в зоне санитарной охраны водозабора областного центра города Кирова с населением более 500 тыс. человек. За годы производственной деятельности всего комплекса предприятий КЧПК существенно возросли площади антропогенно нарушенных земель, водных и биологических экосистем [3].

Обоснование методов и технологий

Каждый химический и токсикологический показатель, включённый в программу геоэкологического мониторинга, определяется с применением классических физико-химических и биологических методов анализа проб воды, атмосферных осадков (снега), почвы, донных отложений и растительности. Особое место в представлении результатов анализа должно отводиться математическим, картографическим, дистанционным методам и ГИС-технологиям.

Методы геоэкологического картографирования направлены на создание карт геоэкологического профиля. Полученные карты отображают геоэкологические проблемы изучаемой территории. Важнейшим элементом содержания геоэкологических карт являются ареалы, локальные участки, территории загрязнения природно-техногенной среды.

При картографировании загрязнения гидросферы целесообразно применять следующие приёмы оценки: качественную и количественную оценку загрязнения отдельных участков водоёмов, количественную оценку вод и общую интегральную оценку загрязнения [4]. При картографировании загрязнения атмосферы следует использовать расчёт суммарных поступлений для отдельных территорий.

Кроме того, важным звеном комплексной геоэкологической оценки территории является составление эколого-биологических карт, с помощью которых можно более детально оценить состояние растительности, устойчивость растительности к загрязнению, потенциал её восстановления [5].

Состояние почв – это интегральный показатель экологической обстановки на изучаемой территории. Приоритетной является оценка загрязнения почв тяжёлыми металлами, в том числе радионуклидами, а также специфическими загрязнителями (соединениями

азота, фосфора и др.) в районе исследования и построение по этим данным оценочных карт загрязнения данными поллютантами.

Методы аэрокосмического мониторинга дополняют данные наземных наблюдений. Космические снимки находят применение при обновлении топографических карт, карт оценки, благодаря высокому разрешению и информативности [6].

Данные аэрокосмической съёмки позволяют выявлять ареалы загрязнения вокруг районов, в пределах которых происходит трансформация окружающей среды под воздействием выбросов промышленных предприятий [7].

Сопоставление разновременных космических снимков позволяет осуществить аэрокосмический мониторинг состояния отдельных компонентов природной среды и выявить регионы с активизацией негативных геоэкологических процессов [8]. Важным направлением аэрокосмического мониторинга является мониторинг состояния лесной растительности и её динамики, который эффективно проводится путём сравнения разновременных снимков. При этом выявляются исчезнувшие и вновь появившиеся лесные массивы на фоне существующих лесов и безлесных территорий [9]. Важным является создание карт вегетационных индексов (NDVI и NDWI) [10, 11], которые отражают сезонную и многолетнюю динамику состояния растительности импактных и фоновых территорий исследуемого района. Ценные материалы могут быть получены при изучении динамики растительного покрова [12], выявления изменений береговой линии, участков развития процессов обмеления, засоления, заболачивания изучаемой территории.

Изучение по снимкам структур и рисунков изображений – уникальный метод анализа, прежде всего, физического антропогенного воздействия на природную среду. В меньшей степени снимки фиксируют характер загрязнения. Однако в совокупности дистанционные методы очень важны в решении проблем геоэкологии [13, 14].

Таким образом, для репрезентативного мониторинга исследуемой территории необходимо использование как традиционных методов мониторинга (мониторинг по физическим, химическим и биологическим показателям), так и современных методов геоэкологического мониторинга (геоэкологического картографирования, аэрокосмических методов), ГИС-технологий [15–17]. При оценке состояния природно-техногенных систем в районе хи-

мических и радиационно-опасных объектов КЧПК необходимо использовать данные дистанционного зондирования Земли.

С целью обеспечения геоэкологического мониторинга исследуемой территории в районе предприятий КЧПК, отображения получаемых результатов, нами в программу мониторинга включено построение оценочных аналитических, синтетических, прогнозных и топографических электронных карт состояния атмосферного воздуха, водных объектов, донных отложений, почв, растительности по вегетационным индексам (NDVI и NDWI).

Результаты

Обоснование перечня показателей геоэкологического мониторинга. В перечень контролируемых показателей геоэкологического мониторинга состояния природно-техногенного комплекса в районе объектов КЧПК включены параметры, отражающие характер воздействия предприятия на окружающую среду, состояние компонентов природного комплекса и динамику происходящих изменений. К таким показателям относится содержание общепромышленных и специфических загрязняющих веществ для каждого производства, содержащихся в выбросах и сбросах по установленным нормам предельно допустимых выбросов и сбросов, которые утверждены региональным природоохранным органом [18].

В перечень показателей системы геоэкологического мониторинга должны быть включены, в первую очередь, наиболее опасные загрязняющие вещества, которые образуются в результате работы АО «Объединенной химической компании «УРАЛХИМ» и завода «ГалоПолимер» – фтор-, хлорорганические соединения, тяжёлые металлы (Hg^{2+} , Cd^{2+} , Pb^{2+} , Cu^{2+}), нитраты, нитриты, аммонийный азот, фториды, фосфаты и др., а также радионуклиды, появившиеся в окружающей среде за время функционирования радиохимического производства на КЧХК в 50–90-е годы XX века. При этом следует учитывать количественные и токсикологические характеристики этих соединений, а также поведение их в природных средах: растворение, разложение, трансформацию, возможность вступать во взаимодействие с другими компонентами и многое другое.

Геоэкологический мониторинг таких сложных территорий, к каким относится исследуемая территория в районе предприятий КЧПК, характеризующаяся нарушенным

ландшафтом, значительной площадью подтопления в паводковый период, заболоченностью территории, мощным антропогенным воздействием действующих предприятий и объектов хранения отходов, в том числе радиоактивных отходов, крайне нуждается во включении в программу дистанционных методов. Это позволяет провести комплексную оценку всей территории исследования, включая труднодоступные участки, выявлять площади урбанизированных территорий, изменения береговой линии р. Вятка, участков развития процессов обмеления, подтопления, засоления, заболачивания, динамики растительного покрова исследуемой территории.

В программу геоэкологического мониторинга природного комплекса в районе предприятий КЧПК нами рекомендуется включить отслеживание динамики природно-техногенного комплекса по данным дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) следующие показатели:

- изменение структуры природного комплекса 5 классов объектов: сосновые леса, лиственные леса, луга, урбанизированные территории, водные объекты;
- изменение процентного соотношения занимаемой данными классами территории;
- изменение видового состава растительного покрова лугов, лесов и пашен;
- площади зарастания вторичными лесами;
- изучение сезонной и многолетней динамики состояния растительного покрова с использованием вегетационного индекса NDVI [19] и индекса влагосодержания NDWI [20] – как интегральных показателей;
- изменение ландшафта;
- оценка интенсивности русловых процессов;
- изменение площадей, занимаемых водными объектами;
- оценка сезонной динамики экологического состояния водных объектов;
- спектральные характеристики загрязнения водоёмов по альгофлоре.

Структурно-функциональная схема аэрокосмического компонента системы геоэкологического мониторинга природно-техногенных систем в районе Кирово-Чепецкого промышленного комплекса. До настоящего времени в оценке состояния окружающей природной среды в районе предприятий Кирово-Чепецкого промышленного комплекса методы аэрокосмического мониторинга практически не применялись. В связи с этим,

актуальным является разработка структурно-функциональной схемы аэрокосмического мониторинга, как одного из компонентов комплексной системы геоэкологического мониторинга данной территории.

Предложенная нами структурно-функциональная схема аэрокосмической компоненты комплексного экологического мониторинга включает следующие блоки: исходная информация (аэрофотоснимки и космические снимки); радиометрическая и геометрическая коррекция космоснимков, привязка снимков, их дешифрирование (визуальное и автоматизированное); дешифрирование аэрофотоснимков, их цифровое трансформирование; сканирование фотоматериалов и их последующая обработка; наземные наблюдения; получение информации о природном комплексе (рис. 1).

Блок исходной информации включает информацию о космических (Landsat TM, ETM+, SPOT, IKONOS, Quick Bird, ASTER, EO-1 (Earth Observing-1) и т. д.) и других летательных аппаратах; характеристики бортовой съёмочной аппаратуры, которые удовлетворяют задачам лесного хозяйства, землепользования; а также содержит информацию о выполненных наземных наблюдениях.

Блок радиометрической и геометрической коррекции изображений включает рас-

чёт статистических показателей исходных данных; коррекцию и восстановление снимков; улучшение визуального восприятия снимков; геометрическую коррекцию, целью которой является устранение искажения на снимках.

Привязка изображений (или геометрическое трансформирование) заключается в преобразовании снимка к одной из стандартных картографических проекций, при этом проводят пространственную интерполяцию и интерполяцию значений яркости пикселей. Пространственная интерполяция выполняется по наземным опорным точкам, для которых известны как географические координаты (широта, долгота), так и координаты на снимке (номер строки и номер пиксела) [21].

Блок дешифрирования (рис. 1) включает автоматизированное и визуальное дешифрирование. Блок автоматизированного дешифрирования включает следующие операции: первичную обработку информации, определение эталонных участков на снимке, выделение классов объектов, оценку точности результатов дешифрирования. Визуальное дешифрирование заключается в анализе изображения в печатном виде и в виде изображения на экране монитора. При этом дешифровщик без труда определяет форму, относительные размеры

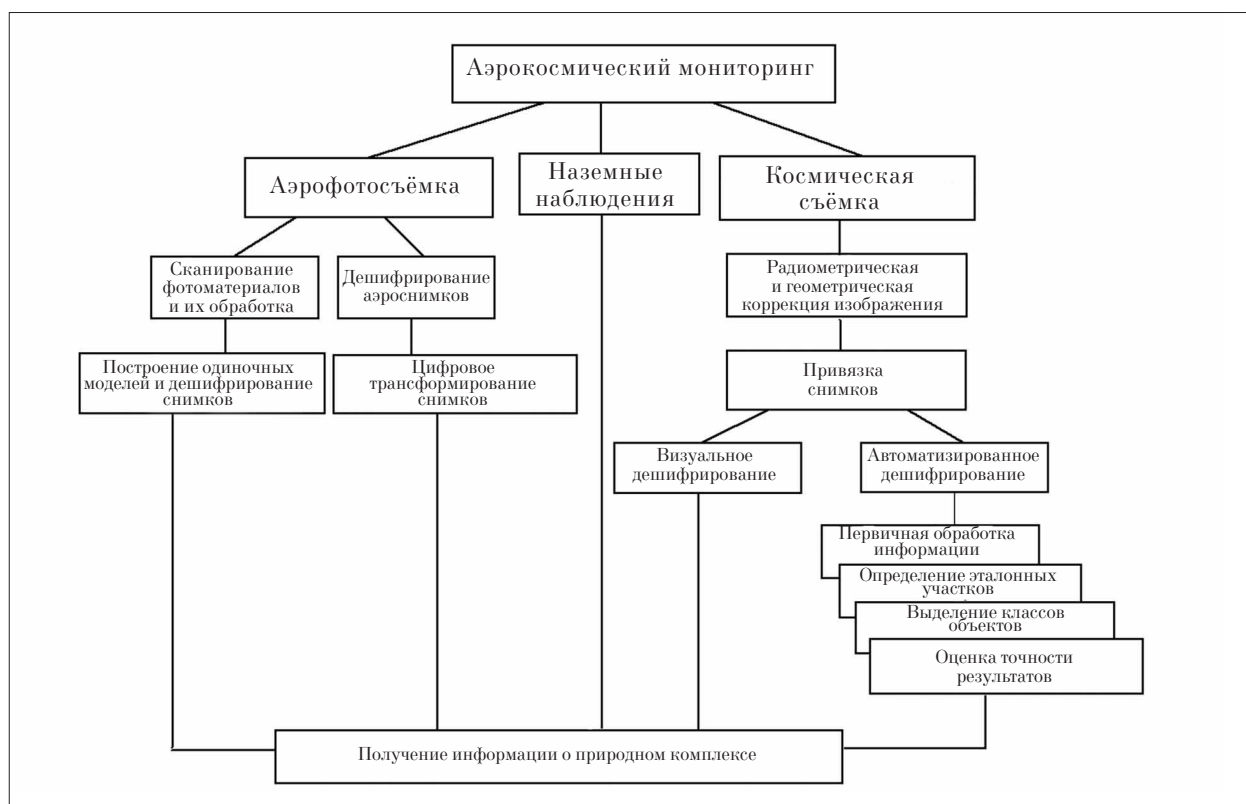


Рис. 1. Структурно-функциональная схема аэрокосмического компонента системы геоэкологического мониторинга территории в районе предприятий КЧПК

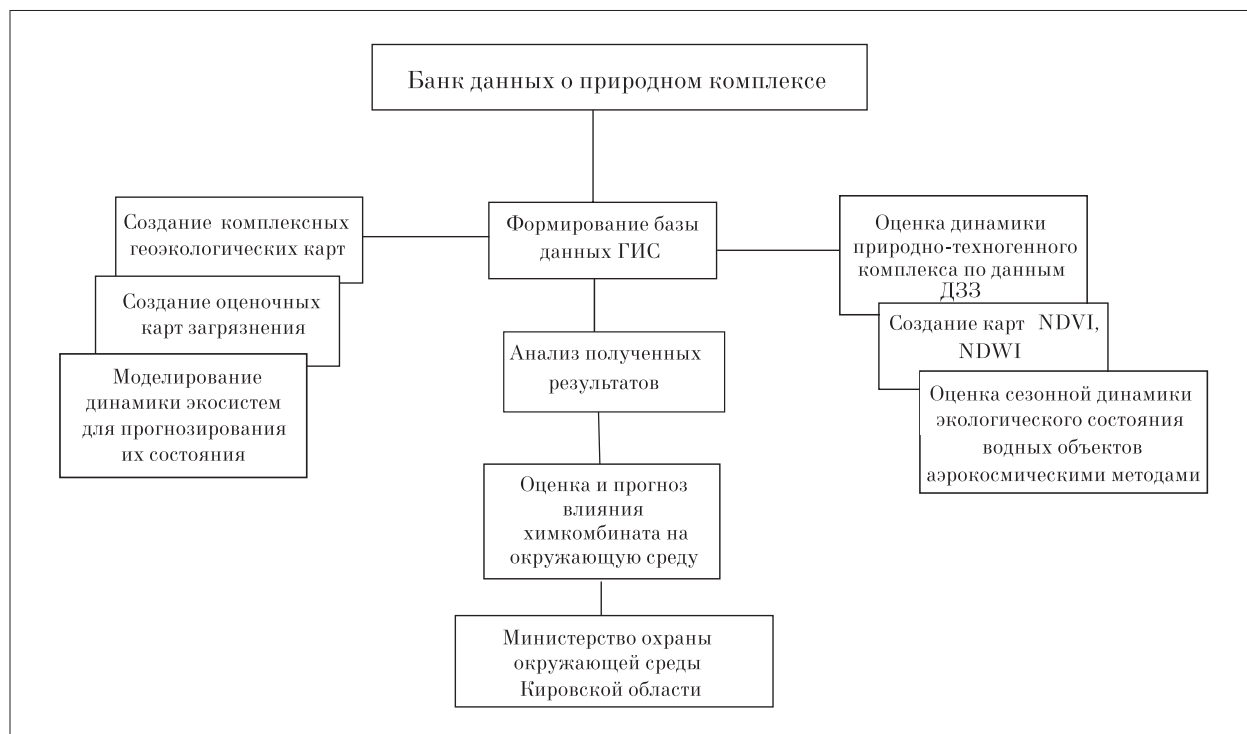


Рис. 2. Структура формирования базы данных ГИС геоэкологического мониторинга

объектов и особенности их распределения, используя всю совокупность дешифровочных признаков [22].

Первичная обработка содержит операции по исправлению искажений, вызванных нестабильностью работы космического аппарата и датчика, географическую привязку изображений с наложением на него сетки координат, изменение масштаба изображения, вырезку фрагмента изображения, применение методов спектрального улучшения, повышения контраста, фильтрацию и представление изображения в необходимой географической проекции (геокодирование).

Далее осуществляется определение эталонных участков для классификации объектов, в ходе которого различные объекты на снимке относят к определенным кластерам. На этапе распознавания устанавливается тождество между отдельными объектами и соответствующими классами. Для выполнения этого шага необходимо использовать дополнительные знания об изучаемой территории, полученные в полевых исследованиях, которые являются неотъемлемой составной частью любой задачи дешифрирования.

Для оценки точности результатов дешифрирования могут быть использованы разные способы: визуальный экспертный анализ с привлечением всех известных данных об объектах на исследуемой территории, проверка по

данным в координатно-привязанных точках наземных наблюдений, не использованных при наборе обучающих выборок, оценки статистических характеристик выборок и итоговых классов. Наиболее применяемой формой представления оценки точности классификации является матрица ошибок, которая характеризует не только погрешность классификации для каждого класса, но и ошибки, связанные с неверной классификацией [23].

При объединении всех блоков структурно-функциональной схемы можно получить более полную информацию о природном комплексе. Далее из схемы формируется банк данных (рис. 2). После этого данные систематизируются в базу данных ГИС, обеспечивающую оперативный и автоматизированный доступ к информации. Полученная информация может быть использована в целях геоэкологического картографирования (создание комплексных геоэкологических карт, оценочных карт загрязнения, моделирование динамики экосистем для прогнозирования их состояния) и оценки состояния природно-техногенных систем с применением данных ДЗЗ (создание карт вегетационных индексов, оценка сезонной динамики водных объектов, состояния растительности, оценка динамики природно-техногенного комплекса).

Структурно-функциональная схема системы геоэкологического мониторинга природ-

но-техногенных систем в районе влияния промышленных предприятий КЧПК представлена на рисунке 3. Она включает в себя три блока: мониторинг природных сред и объектов, мониторинг природно-техногенных систем и аэрокосмический мониторинг.

Аэрокосмический мониторинг в данной работе рассматривается нами, как компонент системы геоэкологического мониторинга, вследствие того, что его составляющие – космические снимки с полученными в ходе наземных наблюдений результатами позволяют сделать более достоверную оценку как природных, так и природно-техногенных систем.

Мониторинг природных сред и объектов обеспечивается в регионе по следующим направлениям:

- мониторинг атмосферного воздуха – Кировский центр гидрометеорологии и охраны окружающей среды;
- мониторинг недр (ландшафтный мониторинг) – Вятский научно-технический информационный центр мониторинга и природопользования – ВятНТИЦМП (при Министерстве окружающей среды Кировской области), лаборатория ЦЛАТИ (при

Управлении «Росприроднадзор» по Кировской области);

– мониторинг подземных вод (ВятНТИЦМП);

– мониторинг поверхностных водных объектов – Кировский центр гидрометеорологии и охраны окружающей среды (два гидропоста на р. Вятка); Министерство окружающей среды Кировской области (в районе Кировского водозабора на р. Вятка);

– мониторинг водных объектов в пойме р. Вятка, вблизи промышленной зоны предприятий КЧПК (р. Елховка, р. Просница, оз. Берёзовое, Просное, Бобровые, карьер ЗМУ) обеспечивается в плане научных исследований лабораторией биомониторинга Института биологии Коми НЦ УрО РАН и ВятГУ;

– мониторинг почв, растительного и животного мира проводится в плане научных исследований лабораторией биомониторинга Института биологии Коми НЦ УрО РАН и ВятГУ.

Блок мониторинга природно-техногенных систем включает:

- мониторинг загрязнения атмосферного воздуха промышленными выбросами, ко-

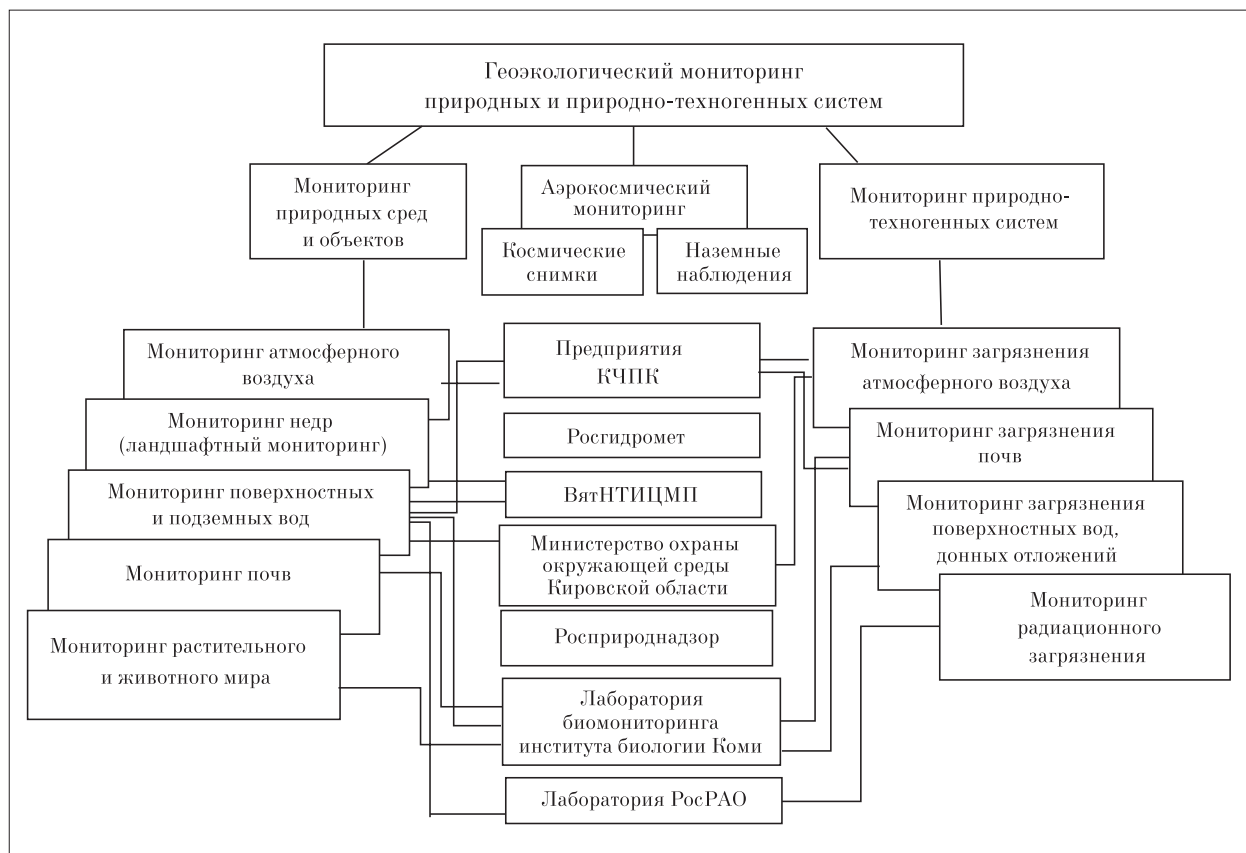


Рис. 3. Структурно-функциональная схема системы геоэкологического мониторинга природного комплекса в районе предприятий Кирово-Чепецкого промышленного комплекса

торый обеспечивается службой эколого-аналитического контроля АО «ОХК «УРАЛХИМ»; Природо-охранном центром Министерства окружающей среды Кировской области;

– мониторинг загрязнения поверхностных вод, донных отложений водных объектов в пойме р. Вятка, вблизи промышленной зоны предприятий КЧПК (р. Елховка, р. Просница, оз. Берёзовое, Просное, Бобровые, карьер ЗМУ) обеспечивается службой эколого-аналитического контроля АО «ОХК «УРАЛХИМ» и в плане научных исследований лабораторией биомониторинга Института биологии Коми НЦ УрО РАН и ВятГУ;

– мониторинг загрязнения подземных вод проводится службой эколого-аналитического контроля АО «ОХК «УРАЛХИМ» и лабораторией ФГУП «Предприятие по обращению с радиоактивными отходами «РосРАО»;

– мониторинг загрязнения почв проводится службой эколого-аналитического контроля АО «ОХК «УРАЛХИМ», в плане научных исследований – лабораторией биомониторинга Института биологии Коми НЦ УрО РАН и ВятГУ;

– мониторинг радиационного загрязнения объектов окружающей природной среды осуществляется лабораторией ФГУП «Предприятие по обращению с радиоактивными отходами «РосРАО».

– исследования в области аэрокосмического мониторинга территории в районе предприятий КЧПК проводятся в течение более 5 лет авторами данного исследования в составе лаборатории биомониторинга Института биологии Коми НЦ УрО РАН и ВятГУ.

Предложенная схема системы геоэкологического мониторинга включает мониторинг природных и природно-техногенных систем на основе сочетания наземных, воздушных и космических наблюдений. Отображение на космических снимках нарушений среды обитания человека в результате антропогенного воздействия на природу делает их ценным материалом для анализа современной экологической ситуации, составления карт экологической оценки территории, разработки экологических прогнозов.

Таким образом, предложенная нами структурно-функциональная схема системы геоэкологического мониторинга включает в себя методы аэрокосмического мониторин-

га с использованием многозональных космических снимков в сочетании с наземными наблюдениями. Это позволит делать более достоверную оценку состояния как природных, так и природно-техногенных систем и объединит усилия различных служб, ведомств, предприятий в контроле состояния объектов ОС и в осуществлении мер по снижению антропогенной нагрузки на природные среды и объекты.

Заключение

В настоящее время аэрокосмические методы имеют определяющее значение для разностороннего изучения и картографирования земной поверхности. Характерная особенность аэрокосмических методов состоит в том, что они являются дистанционными, то есть не требующими прямого соприкосновения с объектом исследования, и позволяющими свести непосредственные исследования к минимуму. Методы аэрокосмической съёмки позволяют большую часть работы перенести в камеральные условия, увеличить скорость производства работ и, вместе с тем, увеличить достоверность и полноту результатов исследовательских работ.

Удобство работы со снимками заключается также в том, что к изображению можно обращаться неоднократно, изучать неопределённо долгое время без больших затрат времени и средств, что затруднительно или невозможно при других методах, например, традиционном полевом экспедиционном методе исследований.

В связи с этим применение аэрокосмических методов в геоэкологическом мониторинге природных и природно-техногенных территорий является актуальным научным исследованием. Предлагаемая в данной работе система геоэкологического мониторинга природного комплекса, в районе предприятий КЧПК, с включением в неё аэрокосмических методов исследования позволяет выявлять изменения, происходящие в природном комплексе, делать прогнозы и обеспечивать опережающий характер в принятии управленческих решений. Предложенные в работе современные методы и технологии геоэкологической оценки, прогноза и мониторинга природно-техногенного комплекса в районе Кирово-Чепецкого промышленного комплекса могут быть использованы для разработки программ и создания систем комплексного экологического мониторинга других территорий, в том числе, особо охраняемых природных территорий.

Работа выполнена при поддержке гранта Президента Российской Федерации для государственной поддержки молодых учёных – кандидатов наук (МК-2120.2017.5).

Литература

1. Бармин И.В., Кулагин В.П., Савиных В.П., Цветков В.Я. Околоземное космическое пространство как объект глобального мониторинга // Вестник НПО им. С.А. Лавочкина. 2013. № 4. С. 4–9.
2. Цветков В.Я. Анализ применения космического мониторинга // Перспективы Науки и Образования. 2015. Т. 3 (15). С. 49–55.
3. Адамович Т.А. Геоэкологическая оценка и оптимизация системы мониторинга территории в районе Кирово-Чепецкого химического комбината: Дисс. ... канд. географ. наук. Ростов-на-Дону: Южный федеральный университет. 2012. 175 с.
4. Лопаткин К.И., Сладкопевцев С.А. Проблемы геоэкологии. М.: МДВ, 2008. 259 с.
5. Сладкопевцев С.А., Дроздов С.Л. Актуальные вопросы и проблемы геоэкологии. Научно-методическое издание. М.: Изд-во МИИГАиК, 2008. 260 с.
6. Савиных В.П., Цветков В.Я. Геоинформационный анализ данных дистанционного зондирования. М.: Картгеоцентр-Геодиздат, 2001. 228 с.
7. Книжников Ю.Ф., Кравцова В.И., Тутубалина О.В. Аэрокосмические методы географических исследований: Учебник для студентов высших учебных заведений. М.: Академия, 2004. 336 с.
8. Муртазов А.К. Околоземное космическое пространство и проблемы охраны окружающей среды. Рязань: РГПУ. 2001. 146 с.
9. Муртазов А.К. Экология околоземного космического пространства. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2004. 304 с.
10. Huete A., Didan K., Miura T., Rodriguez E.P., Gao X., Ferreira L.G. Overview of the radiometric and biophysical performance of the MODIS vegetation indices // Remote Sensing of Environment. 2002. V. 83. P. 195–213.
11. Куссуль Н., Ильин Н., Скакун С., Лавренюк А. Оценка состояния растительности и прогнозирование урожайности озимых культур Украины по спутниковым данным. International Book Series «Information Science and Computing» // The paper is selected from XIVth International Conference «Knowledge-Dialogue-Solution» KDS, Varna. 2008. P. 103–109.
12. Никитина Ю.В. Разработка и исследование технологии мониторинга динамики лесных экосистем по материалам дистанционного зондирования: Автореф. дис. ... канд. техн. наук. Новосибирск, 2007. 26 с.
13. Савин И.Ю. Оперативный спутниковый мониторинг состояния посевов сельскохозяйственных культур в России // Геоматика. 2011. № 2. С. 69–76.

14. Королёв В.А. Мониторинг геологических, литотехнических и эколого-геологических систем / Под ред. В.Т. Трофимова. М.: КДУ, 2007. 416 с.
15. Афанасьев Ю.А., Фомин С.А., Меньшиков В.В. Мониторинг и методы контроля окружающей среды. Учеб. пособие в двух частях. Ч. 2. М.: МНЭПУ, 2001. 208 с.
16. Перфильев С.Е. Космический агропромышленный мониторинг – основа современного сельского хозяйства // Решетневские чтения: Матер. X Междунар. науч. конф. Красноярск: СибГАУ, 2006. С. 119–120.
17. Ашихмина Т.Я. Экологический мониторинг. М.: Академический Проект, 2005. 416 с.
18. Ашихмина Т.Я. Комплексный экологический мониторинг объектов хранения и уничтожения химического оружия. Киров: Вятка, 2002. 544 с.
19. Matsushita B., Yang W., Chen J., Onda Y., Qiu G. Sensitivity of the Enhanced Vegetation Index (EVI) and Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) to topographic effects: A case study in high density cypress forest // Sensors. 2007. V. 7. P. 2636–2651.
20. Gao B.C. NDWI a normalized difference water index for remote sensing of vegetation liquid water from space // II Remote Sensing of Environment. 1996. V. 58. P. 257–266.
21. Лурье И.К. Геоинформационное картографирование. Методы геоинформатики и цифровой обработки космических снимков. Москва: КДУ, 2010. 424 с.
22. Лабутина И.А. Дешифрирование аэрокосмических снимков: Учеб. пособие для студентов вузов. М.: Аспект Пресс, 2004. 184 с.
23. Богомолов Л.А. Дешифрирование аэроснимков. М.: Недра, 1976. 145 с.

References

1. Barmin I.V., Kulagin V.P., Savinykh V.P., Tsvetkov V.Ya. Near-earth space as an object of global monitoring // Vestnik NPO im. S.A. Lavochkina. 2013. No. 4. P. 4–9 (in Russian).
2. Tsvetkov V.Ya. Analysis of application of space monitoring // Perspektivy Nauki i Obrazovaniya. 2015. V. 3 (15). P. 49–55 (in Russian).
3. Adamovich T.A. Geoeological assessment and optimization of the system of monitoring of the territory around the Kirovo-Chepetsk Chemical Plant: Diss. ... kand. geographic. nauk. Rostov-na-Donu: Yuzhnyy Federalnyy Universitet. 2012. 175 p. (in Russian).
4. Lopatkin K.I., Sladkoptevsev S A. Geoeology problems. Moskva: MDV, 2008. 259 p. (in Russian).
5. Sladkoptevsev S.A., Drozdov S.L. Topical issues and problems of Geoeology. Scientific and methodical edition. Moskva: Izd-vo MIIGAiK, 2008. 260 p. (in Russian).
6. Savinykh V.P., Tsvetkov V.Ya. Geoinformation analysis of data of remote sensing. Moskva: Kartgeotsentr Geodezizdat, 2001. 228 p. (in Russian).

7. Knizhnikov Yu.F., Kravtsova V.I., Tutubalina O.V. Space methods of geographical researches: The textbook for students of higher educational institutions. Moskva: Akademiya, 2004. 336 p. (in Russian).
8. Murtazov A.K. Near-earth space and problems of environmental protection. Ryazan: RGPU, 2001. 146 p. (in Russian).
9. Murtazov A.K. Ecology of near-earth space. M.: FIZMATLIT, 2004. 304 p. (in Russian).
10. Huete A., Didan K., Miura T., Rodriguez E.P., Gao X., Ferreira L.G. Overview of the radiometric and biophysical performance of the MODIS vegetation indices // Remote Sensing of Environment. 2002. V. 83. P. 195–213.
11. Kussul N., Ilyin N., Skakun S., Lavrenyuk A. Assessment of the condition of vegetation and forecasting productivity of winter crops of the Ukraine according to satellite data. International Book Series “Information Science and Computing” // Knowledge-Dialogue-Solution: The paper is selected from XIVth International Conference KDS. Varna, 2008. P. 103–109 (in Russian).
12. Nikitina Yu. V. Development and research of technology of monitoring of dynamics of forest ecosystems on materials of remote sensing: Avtoref. ... cand. tech. nauk. Novosibirsk. 2007. 26 p. (in Russian).
13. Savin I.Yu. Expeditious satellite monitoring of the condition of sowings of agricultural crops in Russia // Geomatika. 2011. No. 2. P. 69–76 (in Russian).
14. Korolev V.A. Monitoring of geological, litho-technical and eco-geological systems. Studies / Ed. V.T. Trofimov. Moskva: KDU, 2007. 416 p. (in Russian).
15. Afanasyev Yu.A., Fomin S.A., Menshikov V.V. Monitoring and control methods of the environment. Studies. Ucheb. posobie v 2-kh chastyakh. Moskva: MNEPU, 2001. 208 p. (in Russian).
16. Perfilyev S.E. Space agrarian and industrial monitoring – fundamentals of modern agriculture // Reshetnevskiy chteniya: Mater. kh. mezhdunar. nauch. konf. Krasnoyarsk: SibGAU. 2006. P. 119–120 (in Russian).
17. Ashikhmina T.Ya. Environmental monitoring. Moskva: Akademicheskij Proyekt, 2005. 416 p. (in Russian).
18. Ashikhmina T.Ya. Complex environmental monitoring of objects of storage and destruction of chemical weapons. Kirov: Vyatka, 2002. 544 p. (in Russian).
19. Matsushita B., Yang W., Chen J., Onda Y., Qiu G. Sensitivity of the Enhanced Vegetation Index (EVI) and Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) to topographic effects: A case study in highdensity cypress forest // Sensors. 2007. V. 7. P. 2636–2651.
20. Gao B.C. NDWI a normalized difference water index for remote sensing of vegetation liquid water from space // II Remote Sensing of Environment. 1996. V. 58. P. 257–266.
21. Lurye I.K. Geoinformation mapping. Methods of geoinformatics and digital processing of space pictures: textbook. Moskva: KDU, 2010. 424 p. (in Russian).
22. Labutina I.A. Deshifirovaniye of space pictures: Uchebnoe posobie dlya studentov vuzov. Moskva: Aspekt Press, 2004. 184 p. (in Russian).
23. Bogomolov L.A. Deshifirovaniye's mantises of aerial photographs. Moskva: Nedra, 1976. 145 p. (in Russian).