

В.Л. Андреев, В.И. Биненко, Р.В. Иванов

**ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ
ПРИРОДНО-ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ
НА ОСНОВЕ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ**

V.L. Andreev, V.I. Binenko, H.V. Ivanov

**GEOECOLOGICAL MONITORING OF NATURAL
AND ECONOMIC SYSTEMS BASED
ON UNMANNED AERIAL VEHICLES**

Статья посвящена результатам геоэкологического мониторинга природно-хозяйственных систем на основе технических средств, а именно: беспилотных летательных аппаратов с использованием телекоммуникационных систем сбора, анализа, обработки и распространения пространственно-временной геоинформации и геоинформационных технологий для задач обеспечения экологической безопасности.

Ключевые слова: экологический мониторинг, беспилотные летательные аппараты, экологическая безопасность, геоинформационные технологии.

The article deals with the results of geo-ecological monitoring of natural and technological systems based on hardware, namely, unmanned aerial vehicles, the use of telecommunication systems for collecting, analyzing, processing and dissemination of space-time geo-information and GIS technologies to problems of environmental safety.

Key words: environmental monitoring, unmanned aerial vehicles, environment, geographic information technologies.

Введение

Использование беспилотных летательных аппаратов (БЛА) относится к современным технологиям как за рубежом, так и в Российской Федерации и требует внедрения специфической базы производства микроавиационной техники и микроэлектроники, а также телекоммуникационных систем сбора, анализа, обработки и распространения пространственно-временной геоинформации о природно-хозяйственных геосистемах. Технические средства производства материалов для малоразмерных БЛА предполагают использование, если не графенов, так, по крайней мере, нано- и микроструктурных лёгких и прочных материалов. Двигательная установка планера БЛА, микросистемная авионика, системы взлёта и посадки, автоматического управления полётом, системы ориентации и навигации совместно со спутниковой навигационной системой GPS, оптико-электронные приборы для БЛА должны быть продуктом наиболее передовых инженерно-технических технологий и производств.

Не менее важны и возможности применения БЛА, в частности, для задач геоэкологического мониторинга природно-технических систем (ПТС) для обеспечения экологической безопасности. ПТС – ансамбль природных и техногенных элементов, функционирующих как единая система. Важное значение имеет изучение условий интеграции окружающей среды и элементов техносферы на

основе дистанционных методов мониторинга и оптикоэлектронных приборов, установленных на БЛА.

Цель настоящей работы – рассмотреть технические характеристики БЛА, разработанных в центре технологии беспилотной авиации СПбГУАП и на основе геоэкологического мониторинга исследовать геоэкологические аспекты природно-технических систем с использованием геоинформационных технологий.

Беспилотные летательные аппараты (БЛА)

Исследовательская аппаратура и технические средства, устанавливаемые на БЛА в отдельном отсеке, определяют полезную нагрузку, которая, естественно, связана с тактико-техническими характеристиками используемых БЛА [1, 2, 4, 5, 7, 8, 11–14].

БЛА по принципу создания подъёмной силы подразделяются:

- на самолёты по конструкции крыла: с жёстким и мягким крылом;
- самолёты вертикального взлёта и посадки;
- автожиры;
- вертолёт;ы;
- аэростатические управляемые аппараты-дирижабли: тепловые, газонаполненные;
- гибридные с использованием аэростатического принципа;
- ракеты.




Для решения задач экологического мониторинга на основе приведённой классификации БЛА вертолёт;ы могут показаться наиболее перспективными[3], однако конструктивная и технологическая сложность таких аппаратов, сложность бортовых и наземных систем управления при высокой сложности пилотирования предоопределяют использование более простых в реализации БЛА типа самолёта и автожира.

В таблице приведены лётно-технические характеристики маломерных БЛА, которые используются для задач экологического мониторинга окружающей среды и обеспечения экологической безопасности. К микро-БЛА относятся летательные аппараты массой до 10 кг, временем полёта около 1 ч и высотой до 1 км; к мини – массой до 50 кг, временем полёта несколько часов и высотой до 3–5 км; и к средним (миди) – до 1000 кг, временем 10–12 ч и высотой до 9–10 км; к тяжёлым – с массой более 1 т с высотами полёта до 20 км и временем полёта 24 ч и более.

БЛА, приведённые в таблице, с гиросtabilизацией предназначены для использования в качестве носителя для выполнения аэрофото- и видео- и ИК съёмки как панорамной, так и плановой. Конструктивное исполнение с модульной архитектурой позволяет оперативно менять полезные нагрузки и варьировать состав бортового оборудования, а герметичное исполнение модуля системы управления и полезной нагрузки существенно продлевает срок службы дорогостоящего оборудования при регулярной эксплуатации. Дополнительный

объем внутри консолей крыла позволяет разместить на борту широкий спектр контрольно-измерительной аппаратуры.

Лётно-технические характеристики БЛА

БЛА	Орлан-3	Орлан-10	Орлан-30
Фото			
Масса взлётная/полезная нагрузка кг	до 7 / 2	14 / 4	27 / 8,5
Скорость воздушная, км/ч	70–130	80–150	80–150
Потолок/рабочая высота, м	до 7000/10–1500	7000/10–1500	7000/10–1500
Радиус действия, км	до 100	100	200–300
Продолжительность полета с одной заправки, ч	до 3	6	6–8
Двигатель внутреннего сгорания с калиевым зажиганием/топливо	OS-max-40 Смесь метанола, касторового масла и нитрометана	SA1TO FQ-36 Бензин АИ-95	SA1TO FQ-57 Бензин АИ-95
Мощность/объём двигателя/генератора, л.с. / см ³ /Вт	1,5/ 6,5/90	3/ 12 /150	6,3/ 18 /300
Размах крыльев/длина /высота фюзеляжа, м	2,1 /1,45 /0,4	2/2,4/0,6	2,08/2,4/0,6
Режим полёта с навигацией GPS	Автоматический/полуавтоматический/автономный	Автоматический/полуавтоматический/автономный	Автоматический/полуавтоматический/автономный
Способ старта/посадки	Пусковое устройство амортизационного типа/По самолётному на площадку 50×50 м или на парашюте	Пусковое устройство амортизационного типа/По самолётному на площадку 50×50 м или на парашюте	Пусковое устройство амортизационного типа/По самолётному на площадку 50×50 м или на парашюте

Оперативность проведения мониторинга обеспечивается наличием каналов связи реального времени между БЛА и надежным пунктом управления (НПУ), на котором проводится планирование полётов и обработка полученных результатов.

Высокая устойчивость и хорошая управляемость допускают использование БЛА в сложных метеоусловиях и с ограниченных площадок. Сложные метеоус-

ловия не являются помехой при использовании БЛА благодаря высокой устойчивости беспилотного аппарата. При построении БЛА использовалась модульная архитектура, что позволяет менять состав бортового оборудования оперативно, а БЛА перевозить в разобранном виде.

Комплексообразующей для всех типов БЛА (таблица) является автоматическая система управления АПС2.2 также разработанная в ЦТБА ГУАП.

В состав комплекса входят:

- наземный пункт управления (НПУ) в одном из вариантов исполнения;
- носимый – контейнерного типа, на базе транспортного средства автомобиля, судна и т.п.;
- стационарный – с привязкой к объекту или территории;
- один или несколько БЛА серии «Орлан» одного или различных типов в зависимости от поставленных задач и применяемого оборудования;
- комплект оборудования обеспечения старта БЛА и проведения технического обслуживания элементов комплекса;
- запас ГСМ и ЗИП;
- системы связи и передачи данных от НПУ к потребителям полезной информации.

Информационно-измерительная аппаратура и САУ АПС 2.2 обеспечивают видео- фотоданные с регистрацией параметров съемки (GPS координаты для каждого кадра), что значительно облегчает последующую обработку, а главное, позволяет автоматизировать процесс сшивки отдельных кадров.

Для сшивки кадров используется специальное программное обеспечение, позволяющее сшивать полученные фотоснимки в привязанный фотоплан.

Система автоматического управления БЛА “АПС 2.2”

Если БЛА управляется с наземного ПУ, то:

- возможен полет по программе с полной обратной связью и постоянным контролем БЛА с возможностью изменения всех параметров в режиме реального времени;
- возможен полет по программе в автономном режиме, с записью маршрута на борту, в условиях радиомолчания.

Система автоматического управления БЛА предназначена для управления и навигации беспилотных летательных аппаратов самолетной схемы и обеспечивает:

1. Стабилизацию углов положения БЛА в полете;
2. Навигацию и управление БЛА при полете по заданной траектории;
3. Передачу телеметрической информации о навигационных параметрах и углах положения БЛА в реальном режиме времени.

Система может работать в автоматическом, полуавтоматическом и автономном режимах.

В автоматическом режиме производится полет БЛА по заданному маршруту с возможностью оперативной корректировки отдельных точек маршрута или

всего маршрута в целом. Количество точек маршрута – 100. В каждой точке может быть задана своя высота и признак облета точки (барражирование над точкой и т. п.). Для ввода маршрута используется радиоканал и не требуется проводное соединение между аппаратом и пунктом управления.

В автономном режиме система работает при отсутствии связи с БЛА (в режиме радиомолчания). Коррекция маршрута и контроль его выполнения при этом производиться не может.

В полуавтоматическом режиме управление БЛА может производиться с манипулятора типа «джойстик», с клавиатуры или пульта управления. При этом осуществляется автоматическая стабилизация задаваемых углов положения и угловых скоростей БЛА с целью удержания их в пределах допустимых значений. Также осуществляется удержание заданной высоты.

Взлет и посадка БЛА осуществляются в ручном и в автоматическом режиме. В настоящее время производится отработка алгоритма автоматической посадки.

Состав САУ АПС 2. 2

1. Модуль автопилота – имеет интегрированную ИНС, определяет ускорения и угловые скорости ЛА, вырабатывает управляющие воздействия на исполнительные механизмы, обменивается данными с остальными модулями. Частота выдачи GPS координат увеличена до 4 Гц, что позволяет улучшить точность выдерживания маршрута и привязки фотоснимков.

В базовой комплектации предусмотрены выходы на 12 стандартных рулевых машинок, четыре из них задействованы в канале управления, остальные могут быть сконфигурированы как для управления рулевыми машинками, так и дискретными выключателями. Модуль также содержит два DC-DC- конвертера: для питания рулевых машинок и КТР. Вес модуля-22 г, размеры 57×42×22 мм.

2. Модуль GPS – включает в себя собственно приемник GPS (чипсет Antaris4), стабилизатор питания и антенну. Вес модуля 17 г, размеры 25×25×11 мм.

3. Модуль командно-телеметрической радиолинии (КТР) – осуществляет связь с аналогичным наземным модулем, принимает команды управления и передает телеметрическую и навигационную информацию. Частотный диапазон 900 МГц, используется расширение спектра – ППРЧ. Вес модуля – 8 г, размеры – 21×40×12 мм. Также на борту может быть стандартный приемник системы радиоправления моделями, автопилот может быть включен или выключен по разовой команде. При этом управление осуществляется в ручном режиме со стандартного пульта. Напряжение питания всей системы 5–14 В, потребляемый ток – до 400 мА.

В качестве опции в систему может входить модуль видеотелеметрии.

Модуль видеотелеметрии измеряет барометрическую высоту и скорость, обрабатывает видеосигнал с телевизионной камеры, производя врезку данных для отображения в составе изображения, передаваемого одной или двумя телевизионными камерами. Также производится отображение навигационной информации (номера точки маршрута, дальности и направления). Вес модуля 7 г, размеры 30×32×12 мм.

Успешные испытания и эксплуатация БЛА позволили получить патенты на полезную модель БЛА и авиационно-технический комплекс [9, 10].

Геоэкологический мониторинг ПТС

В зависимости от решаемых задач БЛА могут быть оснащены следующей сменной аппаратурой: фотоаппаратами (одним или двумя); ТВ камерами (плановой, курсовой, поворотной) с гиостабилизацией; малогабаритных спектрометров; ИК камерой, тепловизором; различными спецустройствами мониторинга (фляги для забора газа, газоанализаторы, термодатчики дозиметра и т.д.).

Программное обеспечение НПУ позволяет: использовать в качестве карты любое растровое изображение местности. Привязка может быть осуществлена пользователем по двум и более точкам. Также можно использовать файлы привязки и электронные карты, совместимые с популярной программой Ozi Explorer:

– вводить и редактировать маршрут БПЛА – до 100 точек маршрута (рис. 1). Для каждой точки может быть задана высота и признак облета точки (барражирование). Облет задается по количеству проходов над точкой или по времени. Маршрут может быть скорректирован или введен заново и во время полета. Для ввода маршрута используется радиоканал;

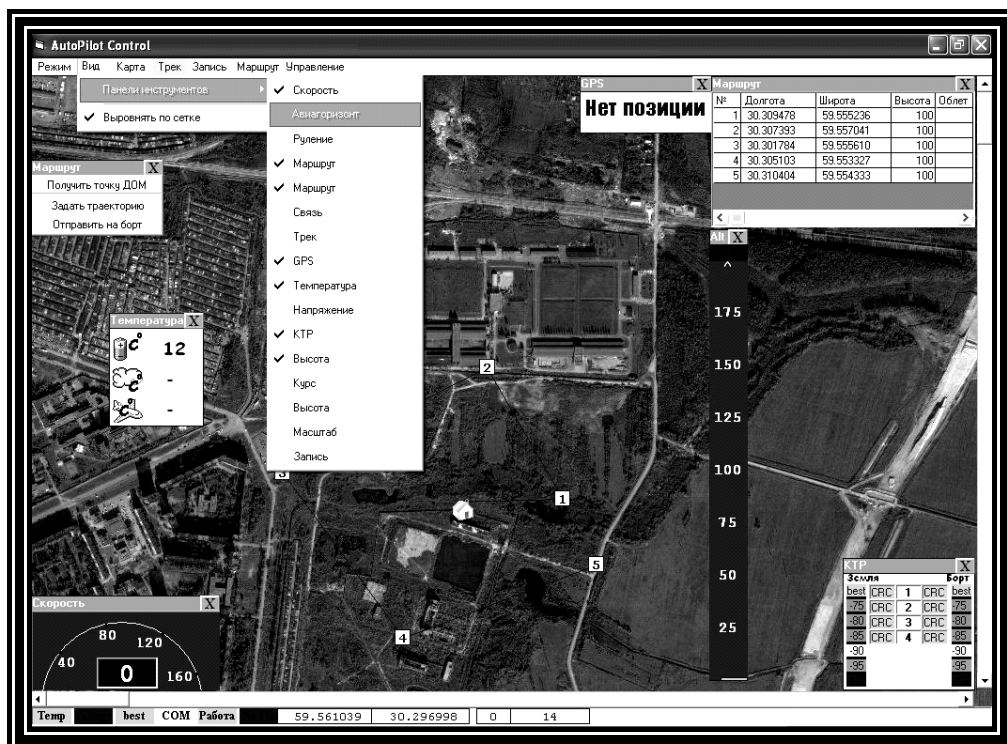


Рис. 1. Отображение монитора с элементами ввода и редактирования маршрута БЛА

– задавать точку «Дом» и точку посадки, а также алгоритмы поведения в нестандартных ситуациях, таких, как пропадание радиосвязи, отсутствие сигналов GPS, отказ двигателя.

– программировать автоматическое включение и выключение ПН на протяжении маршрута полета, а случае использования фотоаппарата – задавать коэффициент перекрытия кадров.

Управление затвором фотоаппарата происходит на борту автоматически, в зависимости от высоты, скорости и заданного коэффициента перекрытия кадров.

Основой пользовательского интерфейса служит цифровая карта и накладываемые на нее интерактивные панели управления (рис. 2). Расположение и наличие панелей на карте пользователь может выбирать сам или использовать один из «стандартных» вариантов. При записи точек и любых действий, связанных с изменением режима управления БЛА, ведется лог (дневник) возникших событий. Также в лог записываются поступающие телеметрические данные. GPS-трек полета пишется в отдельном файле, он совместим по формату с программой Ozi Exploger и др. Панель оперативной индикации (под картой) позволяет оперативно контролировать все важные параметры для анализа функционирования и исправности бортовых систем.

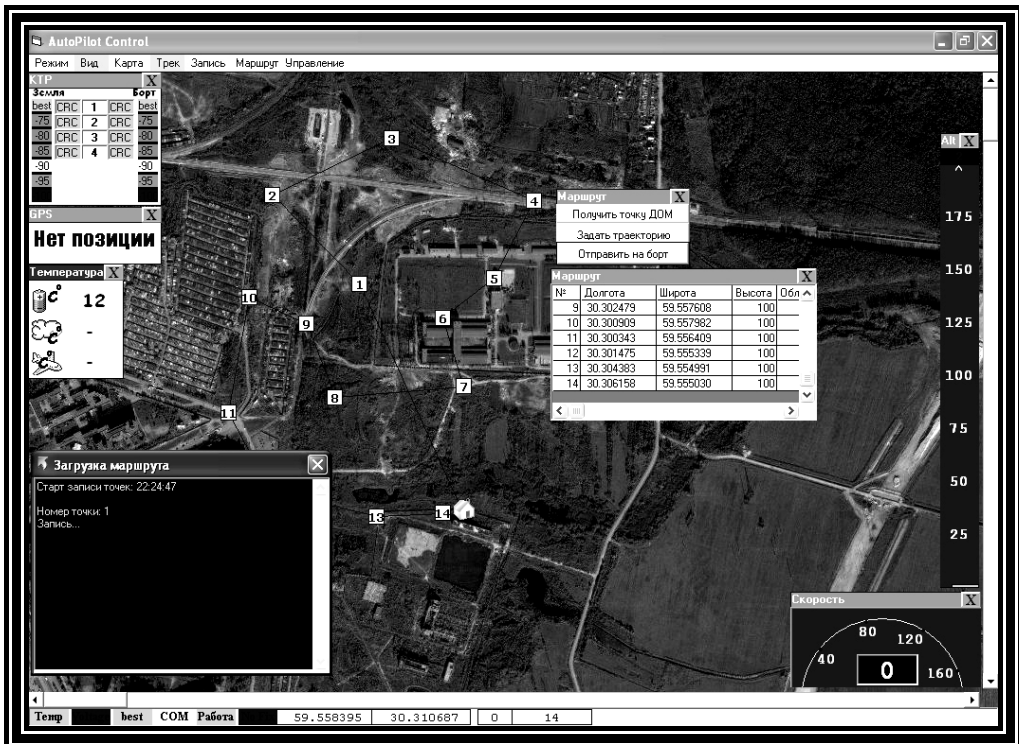


Рис. 2. Основной полуавтоматический интерфейс с цифровой картой и интерактивными панелями управления

Для просмотра лог-файлов полета, в том числе и в режиме реального времени, анализа поведения аппарата в полете и оперативной корректировки настроек регуляторов с учетом отображаемых в виде графиков и диаграмм параметров используется отдельное программное обеспечение. Отладочный комплект также позволяет настроить и проверить корректность функционирования каждой системы отдельно с применением тестовых сигналов и симуляторов с отображением и записью результатов проверок в виде графиков, диаграмм и цветowych индикаторов.

Экологический мониторинг ПТС на основе использования БЛА предпочтителен в дневное время суток при метеоусловиях при скоростях ветра до 15 м/с, детализировать контроль потенциально опасных объектов или отдельных элементов ПТС.

Так, для примера на рис. 3 приведены аэроснимки участка КАД полученные с ИСЗ с высоты 400 км (рис. 3, *а*), с 1,5 км (рис. 3, *б*) и с той же высоты сшивка снимков этого же района. Цифровые фотокамеры высокого разрешения, установленные на БЛА, позволяют контролировать транспортные потоки в городе и плавсредств на реке, оперативно регистрировать ДТП.

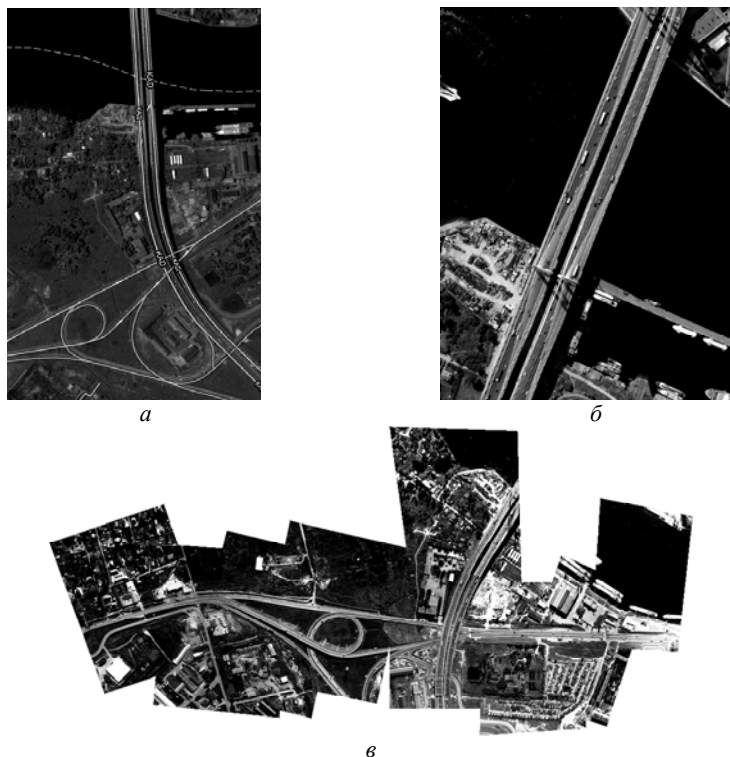


Рис. 3. Результаты мониторинга кольцевой автомобильной дороги (КАД) на основе аэрометодов: *а* – спутниковый снимок КАД с высоты 400 км; *б*, *в* – снимки с БЛА с высоты 1,5 км и сшивка снимков этого же района соответственно

Состояние растительного покрова вследствие влияния городской среды можно оценить по КСЯ и NDVI (рис. 4, *а*), ИК снимки, сделанные с БЛА, позволяют выделять аномалии температуры в городе (рис. 4, *б*), фронт пожара под дымовым факелом (рис. 4, *в*). Измерение полей температуры позволяет определять тепловые потери теплотрасс, городской застройки.

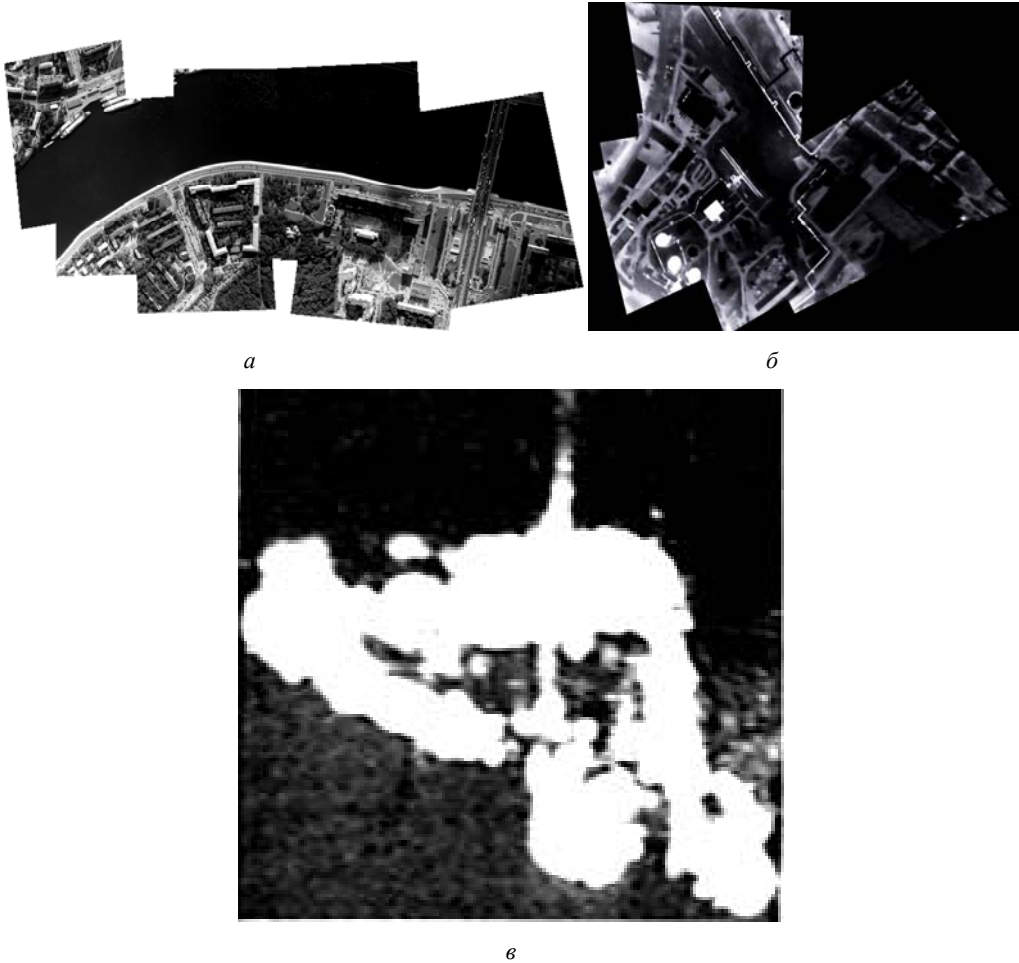
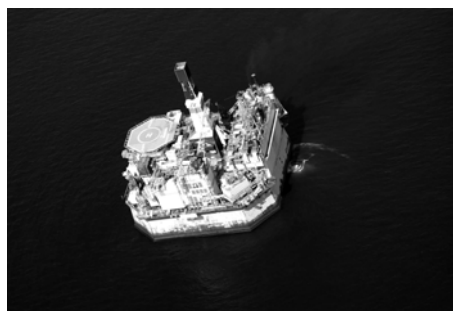


Рис. 4. Результаты сшивок изображений нижележащей поверхности в видимом и ИК диапазонах: *а* – сшивка снимков городской среды в районе реки; *б* – сшивка ИК снимков (10–12 мкм) ТЭЖ; *в* – лесного пожара, прикрытого дымовым облаком

Данные авиамониторинга вокруг о. Сахалин [6] и сведения, публикуемые «экологической вахтой Сахалина» (www.sakhalin.environment.ru), позволили заархивировать их на основе ГИС-технологий, выделить «V», места наиболее подверженных загрязнению в прибрежных районах острова, где наиболее часто наблюдаются загрязнения ПТС (рис. 5).



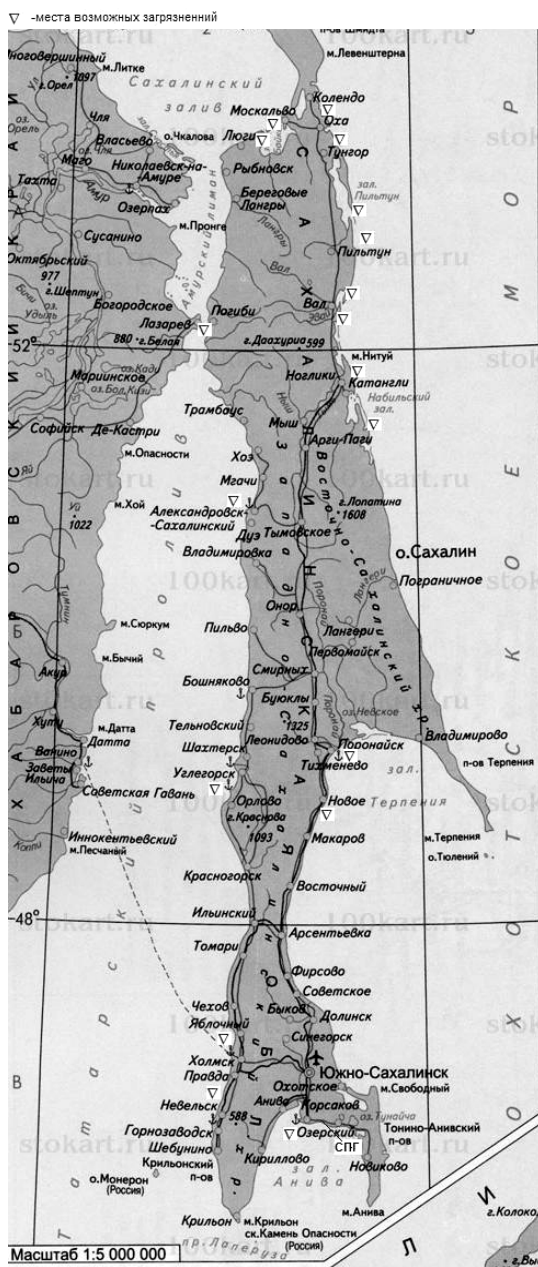
а



б



в



г

Рис. 5. Результаты использования аэрометодов и ГИС-технологий:
а – загрязнения вблизи платформ ПА-Б в акватории залива Пильтун; *б* – нефтяные загрязнения на акватории порта Корсаков в заливе Анива; *в* – отработавшие свой срок суда, брошенные в прибрежной зоне; *г* – карта о. Сахалин с «▽», местами наиболее подверженными загрязнениям в прибрежных районах острова, где наиболее часто наблюдаются загрязнения ПТС

БЛА могут использоваться не только для мониторинга разливов нефтепродуктов, но и других потенциально-опасных объектов топливно-энергетического комплекса ТЭК: трубопроводов, линий электропередач ЛЭП, атомных электростанций АЭС (так, например, гамма-локатор, установленный на БЛА может регистрировать уровень радиации ПТС).

Заключение

Нормативно-правовые вопросы полётов БЛА, наконец, разрешены, поэтому экономичный и надёжный метод дистанционного и оперативного контроля с такого рода носителей позволяет осуществлять геоэкологический мониторинг ПТС: городских агломераций, ЛЭП, мест где расположены газонефтепроводы и хранилища ТЭК, где возможны нефтеразливы, пожары, а также осуществлять авиаконтроль движения транспортных потоков, плавсредств, ледовой обстановки, портов и иных потенциально опасных объектов ПТС. Использование БЛА для решения задач аэроразведки мест чрезвычайных ситуаций, как, например, контроль состояния АЭС после радиационной аварии (рис. 6), является наиболее экономически выгодным, безопасным и оперативным средством мониторинга окружающей среды. На рис 6 видно, что небольшие внешние повреждения только у здания второго энергоблока; здания третьего и четвертого блоков пострадали сильно.



Рис. 6. Фотография (DigitalGlobe) четырех первых энергоблоков АЭС Фукусима 1 по состоянию на 16.03.2011 г.

Литература

1. Андреев В.Л., Иванов Р.В., Козлов Е.Б., Потупчик С.Г., Соколов П.В. Системы управления малоразмерными дистанционно пилотируемыми самолетами // Приборостроение, 2011.
2. Андреев В.Л., Биненко В.И., Иванов Р.В. Обнаружение нефтегенных загрязнений природных вод на основе микроавиации. 4-й Междунар. экологич. форум «День Балтийского моря», СанктПетербург, 19–22 марта 2003 г., с. 148-149.

3. Анцев Г.В., Тупилов В.А., Андреев В.Л., Иванов Р.В. Управление и навигация дистанционно пилотируемых вертолетов // Гирокоспия и навигация, 2006, № 1(52), с. 85-94.
4. Бауэр П. Летательные аппараты нетрадиционных схем. – М., 1991.
5. Биненко В.И., Донченко В.К., Андреев В.Л., Иванов Р.В. Некоторые результаты и перспективы использования беспилотных летательных аппаратов для задач экологического мониторинга // Экологическая химия, 2001, № 1, 21-31.
6. Биненко В.И., Черноок В.И., Иванов Р.В. Экологическая безопасность добычи и транспортирования углеводородов на острове Сахалин на основе исследования аэрометодов и ГИС-технологий // Региональная экология, 2010, 3(29), с. 19-23.
7. Ганин С.М., Карпенко А.В., Колмагоров В.В., Петров Г.Ф. Беспилотные летательные аппараты, сер. «Вооружения и военная техника» // Невский бастион, 1999. – 160 с.
8. Биненко В.И., Донченко В.К., Андреев В.Л., Иванов Р.В., Авдеев В.П., Гадаулин В.М. О возможности использования дистанционно пилотируемых аппаратов (ДПЛА) для задач экологического мониторинга окружающей среды. – В кн.: Новое в экологии и безопасности жизнедеятельности. Док 4-й Всеросс. научно-практич. конф., Санкт-Петербург, 1999, т. 2, с. 450-459.
9. Пат. № 89071 РФ, МПК7:В64с29/02. Беспилотный летательный аппарат / В.Л. Андреев, Р.В. Иванов, Е.Б. Козлов, Д.В. Морщакин, С.Г. Потупчик (Россия), № 2009 125174/22 // Открытие. Изобретение. 2009. – 2 с.
10. Пат. № 97112 РФ, МКП7:В64С29/00. Авиационно-технический комплекс / В.Л. Андреев, Р.В. Иванов, Е.Б. Козлов, Д.В. Морщакин, С.Г. Потупчик (Россия) № 2010 115460/11 // Открытия. Изобретения. 2010. – 3 с.
11. Распопов В.Я. Микросистемная авионика: Учеб. пос. – Тула: Гриф и К, 2010. – 238 с.
12. Основы устройства, проектирования, конструирования и производства летательных аппаратов (дистанционно-пилотируемые летательные аппараты) / Под ред. И.С. Голубева и Ю.И. Янкевича. – М.: изд. МАИ, 2006. – 528 с.
13. Binenko V.I., Andreev V.L., Ivanov R.V. Remote sensing of environment on the base of the microaviation 31st International Symposium on Remote Sensing of Environment Global Monitoring for Sustainability and Security June 20-24, 2005 Sankt-Petersburg. – 4 p.
14. http://en.wikipedia.org/wiki/Unmanned_aerial_vehicle.