

Сложившаяся ситуация приводит к постоянно возрастающему числу дорожно-транспортных происшествий (ДТП), ухудшению экологического состояния атмосферы и гидросферы, повышению уровня шума, постоянному стрессу у людей, проводящих много времени в пробках.

Одной из основных причин такого обострения проблем является неудовлетворительное состояние автомобильных дорог. Так, по данным межрегионального общественного центра «За безопасность российских дорог», в Московской области с 2007 по 2010 год доля ДТП, связанных с неудовлетворительным состоянием улиц и магистралей, выросла на 9,9%, а в Москве — на 12,9%. Для решения этой задачи необходимо иметь наиболее полную информацию о состоянии дорожного полотна и целого ряда объектов дорожной инфраструктуры.

На сегодняшний день основным средством сбора информации о состоянии автодорог являются передвижные лаборатории, оснащенные видеокамерами (в том числе бокового обзора), системой глобального позиционирования и оборудованием для диагностики дорожного полотна (сканерными системами, георадарами и пр.). Однако их недостатком является узкая полоса обзора, получаемая в пределах видимости регистрирующей аппаратуры, из-за чего нередко не фиксируются природно-антропогенные процессы, являющиеся причинами разрушения дорожного полотна. Комплекс также не предусматривает создания целостной информационной базы, содержащей ортофотоплан дорожного полотна и придорожной территории одновременно, что затрудняет работу с полученными данными. Все это зачастую не позволяет произвести комплексную оценку места возникновения дефектов и однозначно установить их причину.

Для проведения комплексной оценки предстояло разработать принципиально новую технологию исследования автомобильных дорог и методику применения передвижной автолаборатории с беспилотными летательными аппаратами (БПЛА). Анализ существующих методик показал, что оперативную и наиболее емкую информацию для

СОСТОЯНИЕ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ ИЗУЧАЕТ БПЛА

За последние годы управление транспортными потоками в городах и регионах в целом заметно ухудшилось. Наглядным примером служат автомобильные дороги вблизи населенных пунктов. Условия передвижения осложняются из-за увеличения количества транспортных средств, недостаточной пропускной способности магистралей, появления новых объектов притяжения (рынков, торговых комплексов, складских терминалов), нехватки парковочных мест и т. д.



Беспилотный летательный аппарат Птеро-Е, применявшийся для экспериментальной съемки участка федеральной трассы М-2 «Крым»

оценки состояния дорожного полотна можно получать, лишь используя вместе автолабораторию и комплекс БПЛА, оборудованный приборами для дистанционного зондирования.

**Оборудование БПЛА
(с модульной конструкцией полезного оборудования)**

| Система глобального позиционирования (GPS/ГЛОНАСС): |
|---|
| цифровая фотокамера (f = 50 мм) |
| цифровая видеокамера |
| ИК-камера |
| УФ-камера |
| лазерный высотомер |
| газоанализатор |

Применение комплекса БПЛА позволяет производить оперативный дистанционный мониторинг как собственно автомобильных дорог, так и прилегающих территорий для получения данных высокого и сверхвысокого разрешения (рис. 1). С помощью информации, получаемой с БПЛА, координируется работа наземного комплекса: на основе материалов крупномасштабной съемки появляется возможность его целенаправленного применения в местах обнаружения значительных нарушений. Возможность использования БПЛА для исследования состояния дорог была подтверждена практическими исследованиями, проводившимися на участке федеральной трассы М-2 «Крым» в сентябре 2011 года.

В ходе исследований произведена экспериментальная съемка участка федеральной трассы «М-2» длиной около 22 км, от транспортной развязки, ведущей к Серпухову, и далее на юг, в сторону Тульской области. В результате эксперимента была доказана эффективность применения комплекса БПЛА для определения параметров транспортного потока и обнаружения дефектов дорожного полотна.

В задачи исследований входили определение оптимальных съемочных параметров и оценка информативности полученных материалов.

Съемка выполнялась цифровой фотокамерой с фокусным расстоя-

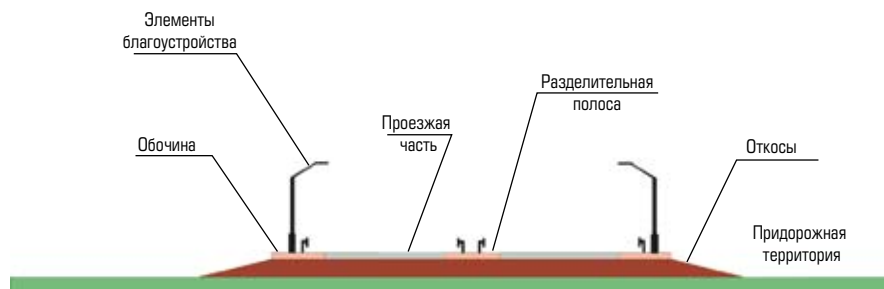


Рис. 1. Структура участка местности с автомобильной дорогой

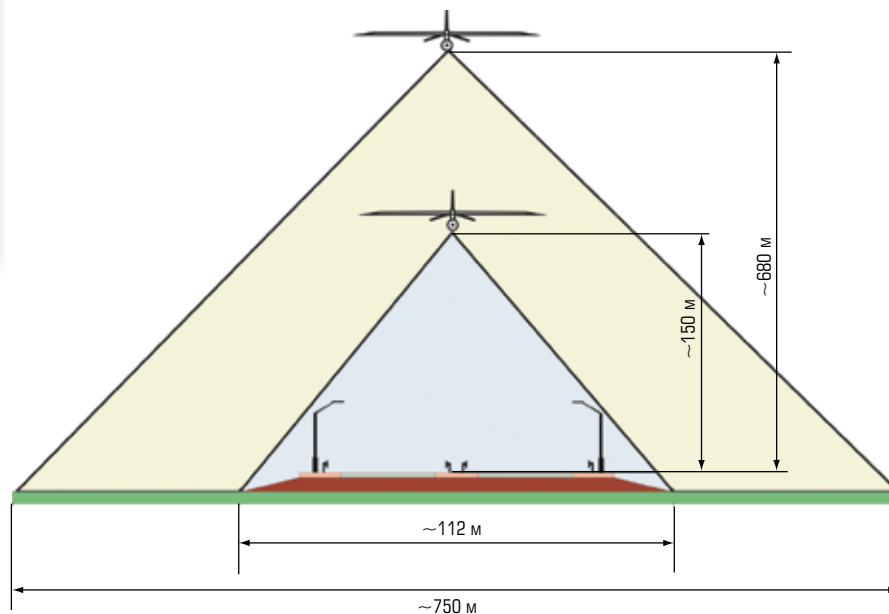


Рис. 2. Аэрофотосъемка автомобильной трассы с разных высот

нием 50 мм с двух высот: ~150 и ~680 м. Во время срабатывания затвора фотокамеры производилось фиксирование времени и координат положения центра снимка с помощью бортовой GPS-системы. Высота съемки и угол поля зрения камеры обеспечили полосы захвата на местности ~750 и ~112 м соответственно (рис. 2).

Используемая на БПЛА цифровая камера имеет матрицу размером 36×24 мм, размер изображения при этом 5616×3744 pix. Для обеспечения максимальной ширины полосы захвата съемочная камера устанавливалась так, чтобы длинная сторона матрицы камеры была расположена перпендикулярно траектории полета БПЛА.

Полученные цифровые фотоснимки были привязаны в координатном пространстве, и на их основе со-

ставлены фотопланы участков автомобильной дороги. Фрагмент фотоплана, полученного с высоты 680 м, представлен на рис. 3.

Съемка обеспечивает достаточно широкую полосу захвата вдоль автодороги с получением изображений развязок, придорожной полосы и прилегающих к трассе объектов муниципальной инфраструктуры. Однако в данном случае разрешение снимков не соответствует требованиям детального дешифрирования дефектов дорожного покрытия и мелких эрозионных форм, расположенных вблизи дорожного полотна. Эту проблему решает съемка с высоты ~150 м с пространственным разрешением снимков порядка 2 см на один пиксел (рис. 4).

Но здесь имеются свои особенности. Помимо меньшей полосы захвата, съемка с низкой высо-



Рис. 3. Фрагмент фотоплана с высоты 680 м



Рис. 4. Увеличенные фрагменты снимка автодороги с высоты ~150 м

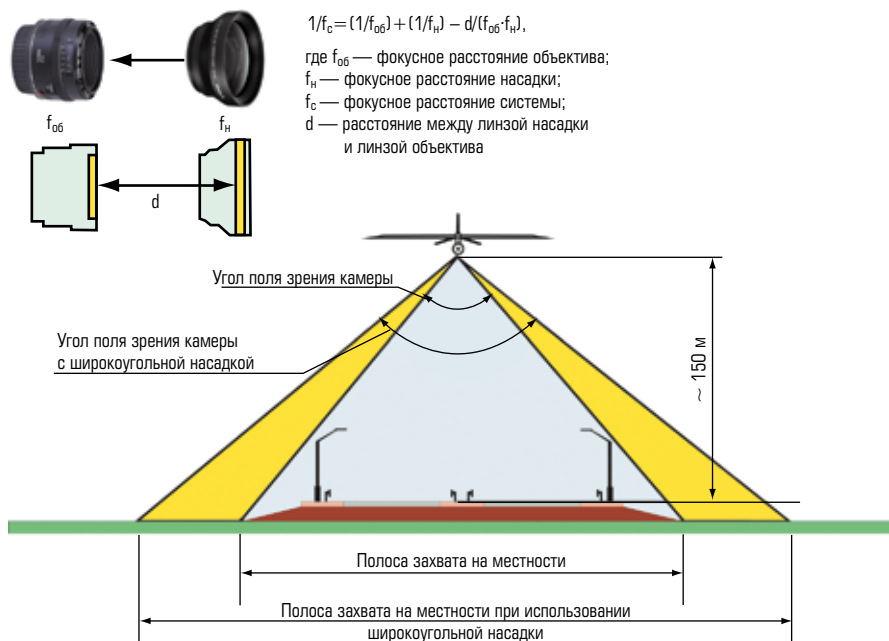


Рис. 5. Применение широкоугольной насадки при аэрофотосъемке автомобильной дороги

ты предполагает выполнение двух маршрутов для сведения к минимуму вероятности непопадания дороги в кадр (из-за возможных неточностей прокладки курса, сноса БПЛА боковыми ветровыми потоками и др.) и получения избыточной информации для автоматизации обработки. Компромиссный вариант — это совместное использование материалов разновысотных съемок, в результате чего широкая полоса захвата сочетается с высокой детальностью изображения вдоль трассы.

В ходе экспериментальных работ на участке автомобильной дороги выполнено 4 маршрута аэрофотосъемки, что привело к дополнительным финансовым и временным затратам. Для оптимизации временных затрат и повышения экономической эффективности метода была предложена технология аэрофотосъемки с использованием широкоугольной насадки на объектив цифровой фотокамеры и осевых линий автодорог для прокладки курса БПЛА.

Широкоугольная насадка на объектив камеры — дополнительное оборудование к объективу, состоящее из набора линз, заключенных в корпусе и имеющих больший угол поля зрения, чем сам объектив. Использование широкоугольной насадки позволяет получить более широкую полосу захвата при съемке, однако ее применение уменьшает фокусное расстояние оптической системы в целом (рис. 5).

Важным моментом для выполнения съемки является наличие осевых линий и пикетажа автодорог, которые можно получить из проектной документации. Однако нередки случаи, когда такая информация отсутствует или находится в неудовлетворительном состоянии. Тогда для прокладки курса БПЛА и восстановления документации на автомобильную дорогу производится съемка осевых линий при помощи субметровой системы глобального позиционирования GPS/ГЛОНАСС на маршруте заданного участка с представлением снятых объектов в геоинформационной системе (ГИС). Ее основу, разрабатываемую для обеспечения оценки состояния автомобильных дорог, составляют данные, получаемые с борта БПЛА.

По результатам дешифрирования материалов аэрофотосъемки была

получена фотосхема автодороги и ряд тематических карт (площадных дефектов, экзогенных процессов и др.) (рис. 6). По материалам аэросъемки достоверно определяются площадные, линейные и точечные дефекты размером 2 см и крупнее. Выполнение съемки дорожного полотна после дождя позволило обнаружить и более мелкие дефекты за счет изменения яркостных характеристик асфальта скопившейся влагой. Скопление влаги в дефекте создает эффект визуального увеличения его размера.

Согласно методическим указаниям, для проведения обследования дорожного покрытия была создана структура атрибутивных данных для дешифрирования площадных, точечных и линейных форм дефектов дорожного полотна, придорожной инфраструктуры и современных экзогенных процессов.

Созданные тематические карты и схема дорожного полотна позволяют средствами ГИС оперативно получать статистические данные распределения плотностей дефектов дорожного полотна для определенного участка трассы (рис. 7). Так, например, выявлены участки дорожного полотна, имеющие более высокую плотность дефектов (сиреневый цвет).

Одним из перспективных направлений использования аэросъемки с БПЛА является оперативный мониторинг прогнозирования состояния дорожного полотна. По материалам аэрофотосъемки хорошо дешифрируются экзогенные процессы, протекающие в районе расположения автомобильной дороги. Постоянный мониторинг с БПЛА и применение ГИС позволяют оценить скорость развития и направление экзогенных процессов, а в ряде случаев — установить причины их возникновения. Экзогенные процессы и причины их возникновения являются серьезной угрозой для состояния дорожного покрытия (рис. 8).

К поперечным трещинам на дорожном покрытии подходят эрозионные формы. В данном случае эрозионные процессы представлены промоинами. Эрозионные формы хорошо дешифрируются на снимках, захватывающих большую площадь, так как при малых площадях и высокой детализации очертания маскируются текстурами растительного покрова.

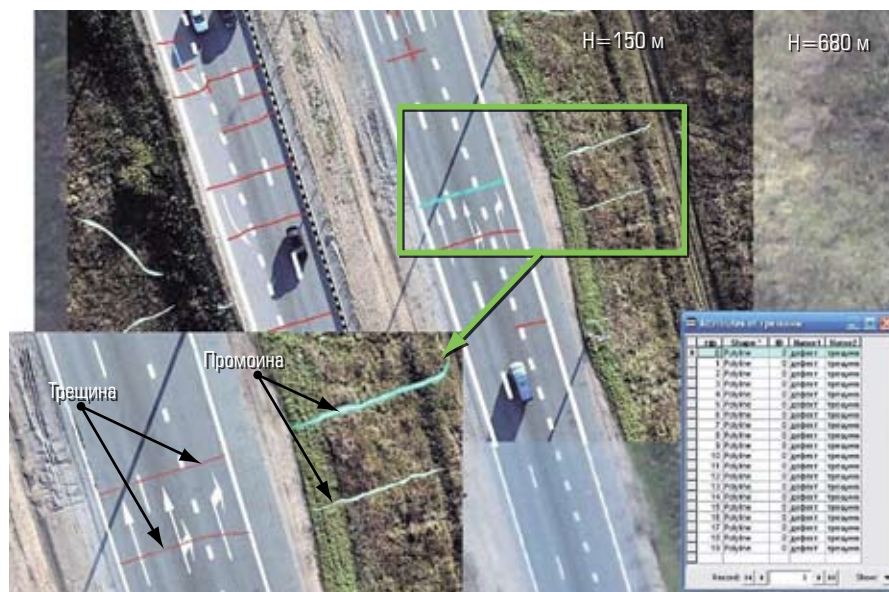


Рис. 6. Карта поперечных дефектов дорожного полотна

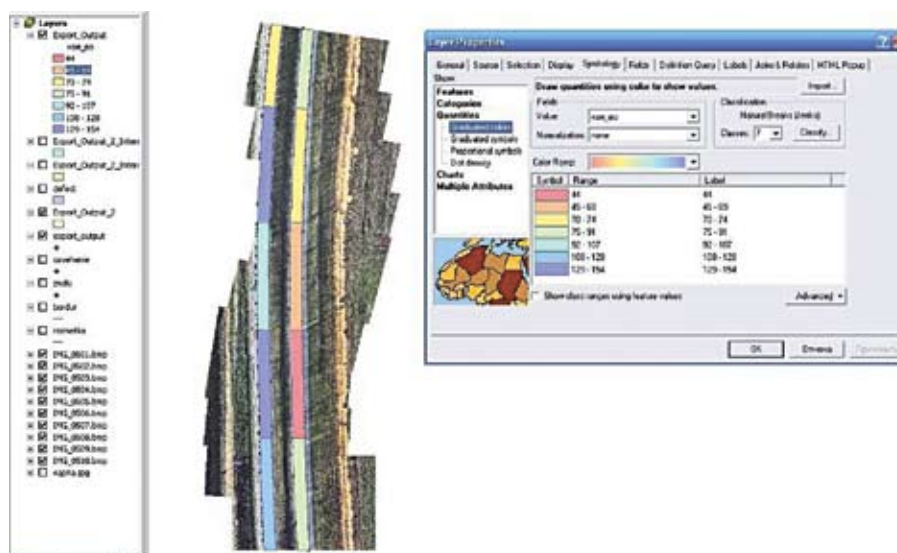


Рис. 7. Распределение плотностей дефектов дорожного полотна на каждые 100 м

На базе тематических картографических материалов, полученных средствами ГИС, планируется составление прогнозных карт рисков появления дефектов и разрушения дорожного полотна, а также изучение динамики их изменений в связи с развитием экзогенных процессов. Структура ГИС предполагает хранение данных дистанционного мониторинга, цифровых карт по годам, их оперативное обновление и статистическую обработку по заданным интервалам времени.

Для выполнения экспериментальной аэросъемки автомобильной до-

роги использовался БПЛА «Птеро-Е». Полученные результаты подтвердили эффективность применения комплекса БПЛА для решения следующих задач:

- ведения оперативного мониторинга состояния дорожного полотна;
- контроля за строительными и ремонтными работами на дорогах;
- обнаружения дефектов дорожного полотна и определения их параметров;
- получения материалов цифровой съемки в видимом, инфракрасном и ультрафиолетовом диапазонах;

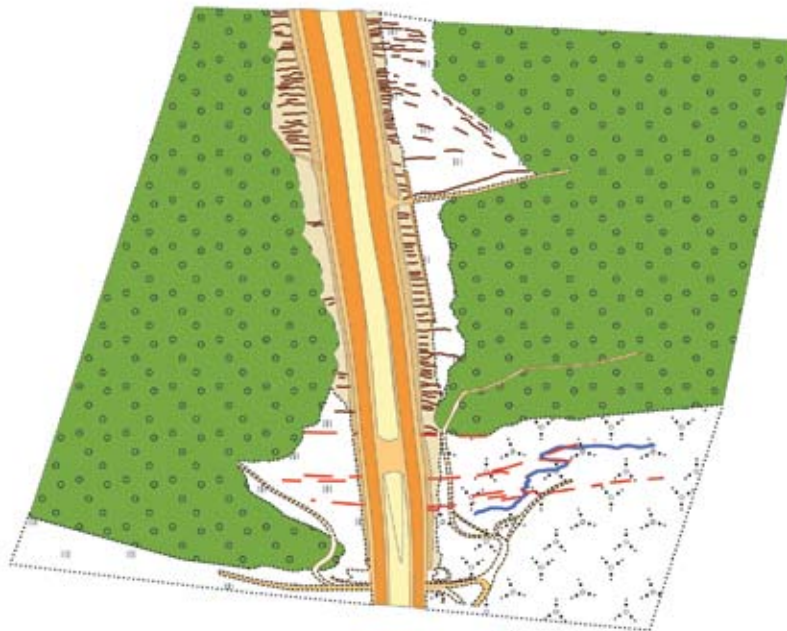
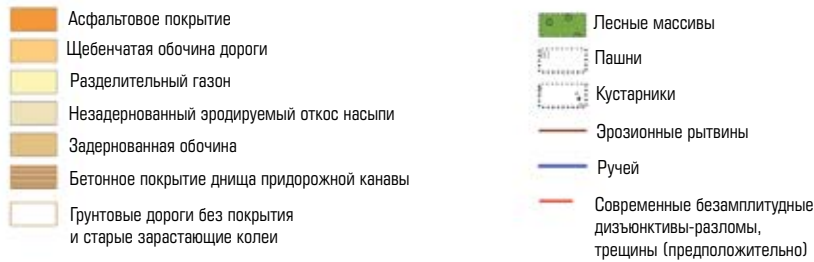


Рис. 8. Карта геологических и экзогенных процессов (выполнена В.Н. Орлянкиным по материалам аэросъемки):



- получения трехмерной модели дороги по стереопарам;
- выполнения фиксации маршрутов аэросъемки с отображением в ГИС;
- формирования банка данных материалов аэросъемки;
- получения информации о состоянии дорожного полотна, в том числе определения геометрических параметров (продольных и поперечных уклонов, радиусов кривых в плане и профиле, высотных отметок, видимости, пройденного пути);
- получения видеоинформации для дорог и искусственных сооружений с формированием банка видеоданных;
- фиксирования объектов инженерного обустройства;
- определения параметров транспортного потока.

Проведенные исследования показали, что предлагаемая технология применения БПЛА является современным и экономически эффективным средством исследования состояния автомобильных дорог и прилегающих территорий.

**Д.В. Филиппов, К.Ю. Великжанина,
Научный геоинформационный
центр РАН,
Д.А. Грядунов,
ООО «АФМ-Серверс»**

