

## Лекция №17

### Космический мониторинг железнодорожных природо- технических систем

#### 1.1 Общие положения

Развитие транспортной инфраструктуры России играет важную роль для ее устойчивого развития и органичного вхождения в международную систему хозяйства. Увеличенная нагрузка на существующие железнодорожные линии и строительство новых магистралей для обеспечения транзитных перевозок и потребностей освоения отдаленных регионов существенно повышает геоэкологический и геотехнический риск, связанный с системным взаимодействием техногенных и природных факторов.

Надежность работы инженерных коммуникаций во многом зависит от своевременной и достоверной оценки пространственно-временных параметров природно-техногенных условий и процессов, как современных, так и потенциальных.

В то же время геоинформационная обеспеченность всех уровней управления природно-техническими системами - от регионального до локального, в настоящий момент недостаточна.

*Это связано с тем, что, несмотря на достаточно развитые теоретические основы природно-технического, геосистемного подходов, практически они чаще всего реализуются при строительстве новых сооружений для обоснования их рационального размещения, применения специальных конструктивных решений, оценке воздействия на окружающую среду.*

*Эксплуатация инженерного сооружения осуществляется за редким исключением, как технического объекта, а комплексные оценки или*

*природно-техногенный мониторинг производится в условиях очевидных угроз или наносимого ущерба природной среде или сооружениям.*

*Такая обстановка особенно ярко проявляется для инженерных сооружений, возведенных 50-100 лет назад.*

*С одной стороны, нормы проектирования и нагрузок, средства получения информации и её качество значительно отличались от современных, а с другой стороны - природно-техногенные условия, в которых функционирует сооружение, также изменились кардинально. Возникают критические ситуации, последствия которых и ликвидация ущерба от них имеют экстремальный характер и неоправданно большую стоимость, чего можно было бы избежать при своевременной оценке системных взаимодействий природной и техногенной составляющих.*

Наиболее рациональным, экономически эффективным способом получения информации о системном взаимодействии является аэрокосмическое зондирование.

## 1.2. Аэрокосмическое зондирование. Технические средства и геоинформация АКЗ

«АКЗ – это комплекс дистанционных методов, используемый в инженерно –экологических изысканиях, включающий много-зональную и спектрзональную аэрофотосъемки в сочетании с материалами космических фото, сканерной, телевизионной, радиолокационной, инфракрасной и др. видов съемок, осуществляемых с искусственных спутников земли, орбитальных станций и пилотируемых космических кораблей. В практике широко применяются фото и сканерные виды съемок. Остальные используются для решения узкого круга специальных задач" СП 11-102-97. Инженерно-экологические изыскания для строительства"

<https://innoter.com/scientific-articles/985>

1.2.1 Аэрокосмическая информация, получаемая при съемках в многоспектральном диапазоне.

В настоящее время созданы и функционируют космические аппараты (КА) для научных, прикладных исследований и практического использования аэрокосмической информации в различных отраслях экономики, промышленного производства и транспорта.

Современные космические системы дистанционного зондирования предоставляют большие возможности для получения полезной информации благодаря космическим аппаратам (КА), оснащенным современным оборудованием высокого разрешения. На пример, КА «Ресурс\*ДК1»





Рис.1. КА Ресурс\*ДК1

(рис.1) имеет следующие технические характеристики:

Параметры рабочих орбит: высота  $H$  — 350—610 км; наклонение — 64,8—70,4 град.

Разрешение на местности при  $H = 350$  км: в полихроматическом диапазоне — не хуже 1,0 м;

в узких спектральных диапазонах — не хуже 2,0—3,0 м.

Число спектральных диапазонов равно 3.

Полоса захвата в надире от 4,7 до 28,3 км; при отвороте КА по крену — до 40,0 км; полоса обзора — 448 км.

Скорость передачи данных по радио линии — до 300 Мбит/с.

К достоинствам систем космического ДЗЗ (КА высокого разрешения) относятся:

- высокое в полихроматическом режиме пространственное разрешение — не хуже 1,0 м;
- радио метрическое разрешение — не менее 11 бит на пиксель;
- возможности получения стереосъемки (при наличии трех спектральных каналов и одного инфракрасного),
- возможности получения «перспективной» съемки (с отклонением от надира на 45 град),
- возможности получения геоинформации района местности (на земной поверхности с периодичностью 1—5 дней в зависимости от географической широты);
- существенно увеличенные возможности получения геоинформации с помощью гиперспектральной аэросъемки (рис. 2.1.2);
- возможность получения (обновления) картографической информации в масштабе не хуже 1:5000 (один пикет — 20 мм, 1 км — 20 см).

На рис. 2. приведены образцы информации, полученные с КА с помощью систем «Ресурс\*»

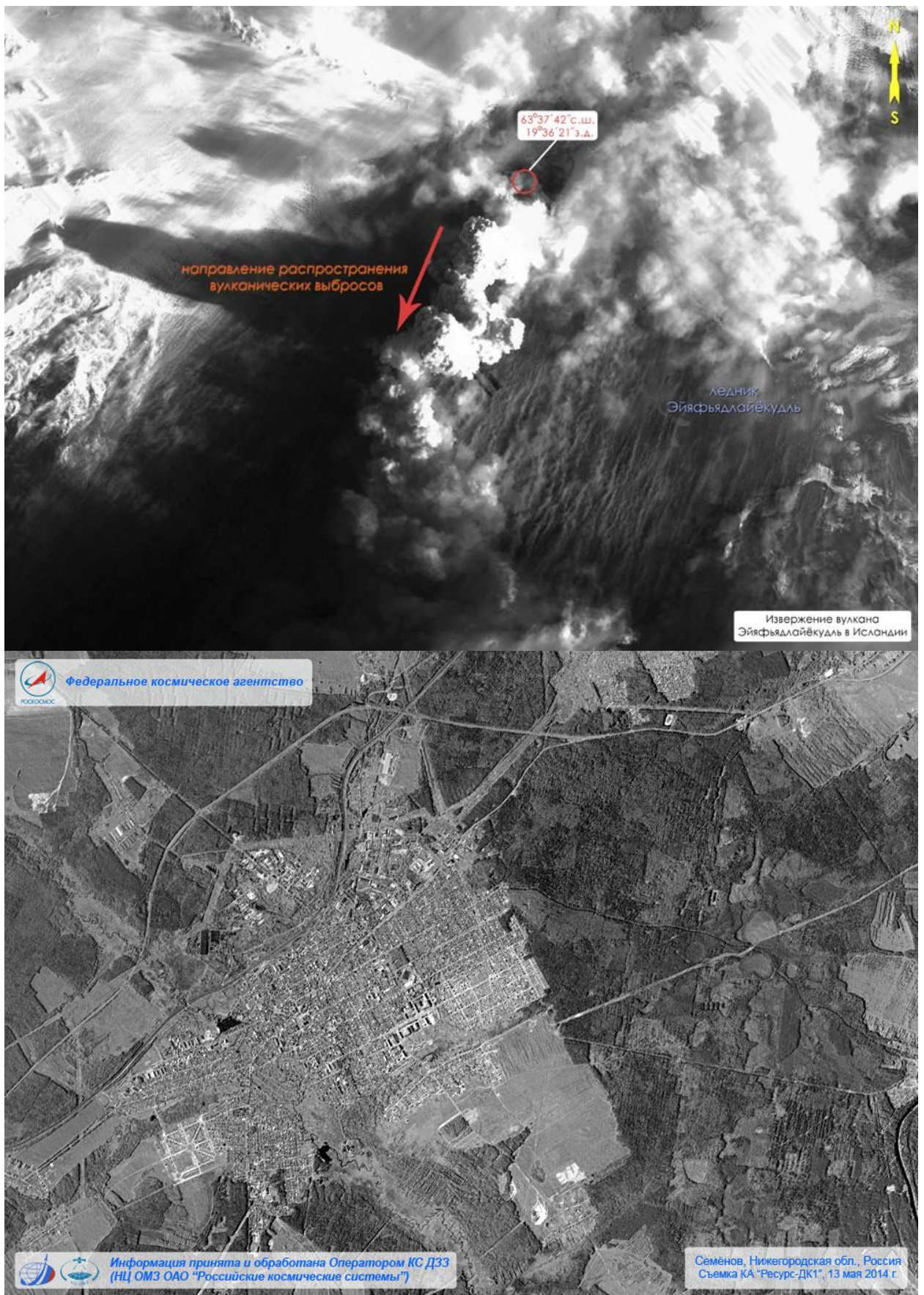


Рис.2 Образцы информации, полученные с КА с помощью систем «Ресурс\*»

В регионах РФ имеются и создаются Центры космической геоинформатики с большим архивом (базой данных — БД) полученных космических фотоснимков (до нескольких миллионов).

Эти базы данных доступны для использования по стоимости и без разрешительных документов. Предоставляется возможность оперативного выполнения съемок для получения необходимой информации, на что не требуется особых разрешений от надзорных государственных органов.

Выполняется оперативная обработка полученных данных для использования в геоинформационных системах (ГИС).

С помощью автоматических космических аппаратов создается информационное обеспечение обоснования рационального использования природных ресурсов, хозяйственной деятельности региональных производственных структур и транспортных коммуникаций.

Использование космической информации особенно эффективно для территорий, имеющих сложные ландшафтно-климатические и геодинамические условия, и для труднодоступных, малообжитых районов (районы Севера и Заполярья, Западной и Восточной Сибири, горные районы Кавказа, Южной Сибири, Прибайкалья, Забайкалья, Дальнего Востока).

Здесь спутниковые технологии ДЗЗ широко применяются при изучении территорий для оценки их природно-ресурсного потенциала, при инженерно-геодезических, инженерно-геологических и инженерно-экологических изысканиях с автоматизированными технологиями обработки данных зонирования, при создании цифровых моделей местности, картографировании на основе ГИС\* технологий (комплексов CREDO, «ПАНОРАМА», MapInfo, ERDAS Imagine и др.) и для обоснования предпроектных разработок при оптимизации трассирования железных дорог и выборе вариантов.

Материалы космических съемок по сравнению с аэросъемочными имеют ряд преимуществ:

- a) Малые искажения масштаба и отсутствие их после обработки данных;
- b) высокое качество информации,
- c) большая обзорность.

Съемки, выполняемые с помощью многоспектральных систем, разделяются по пространственному разрешению на три группы:

- a) низкого,
- b) среднего
- c) высокого разрешения на местности.

Космические фотоснимки с **низким** пространственным разрешением на местности (свыше 30 м) **мало применяются в инженерной практике**. Основная их особенность — высокий уровень обзорности, позволяющий анализировать макро- и мега особенности ландшафтов и геоструктуры региона. На практике эти фото снимки используются для общей оценки природных условий районов проложения трасс железных дорог большой протяженности на этапе обоснования инвестиций.

Космические фотоснимки со средним пространственным разрешением на местности (до 30 м) имеют большую значимость для обоснования и размещения объемов изыскательских работ и объектов индивидуального проектирования (тоннелей, мостов, станций, населенных пунктов, крупных предприятий). Они позволяют достаточно информативно оценивать ландшафтные, инженерно-геологические, гидрогеологические и экологические условия и особенно информативны при оценке характера и степени тектонической раздробленности массивов горных пород и ее влияния на интенсивность протекающих в них экзогенных процессов. При описании разрывных нарушений по космическим фотоснимкам применяют прямое распознавание изображений на основе анализа признаков (фототон,



рисунок, контрасты, конфигурации и размерные параметры объектов) и анализа оптической модели ландшафта с последующей индикационной интерпретацией гидрогеологических и инженерно-геологических условий. Последние непосредственно не проявляются в оптических моделях ландшафтов, а распознаются косвенно через индикационные связи и в системе: внешние компоненты ландшафта (рельеф, растительность, поверхностные воды) — литогенная основа ландшафта (горные породы, их изменчивость, подземные воды) — процессы, протекающие в литогенной основе (эндогенные и экзогенные, в том числе мерзлотные). Космические фотоснимки со средним пространственным разрешением — надежная основа для составления карт инженерно-геологического районирования территорий строительства в масштабе 1:50 000—1:200 000, для сейсмотектонических оценок территорий, специальных оценок экзогеодинамики территорий, оценок техногенного воздействия на экологические условия и для получения ресурсной информации.



- Рис.3. Космический снимок с разрешением 30м.

Home

Космические снимки со спутника Landsat-7 (камера ETM+, пространственное разрешение 30м, за период с 30 июня 2008 г. по 16 мая 2009 г.) предоставлены некоммерческим партнерством «Прозрачный мир», которое вместе с международным заповедником «Даурия» при поддержке Инженерно-технологического центра «СканЭкс» и WWF России в настоящее время выполняет спутниковый мониторинг проекта переброски вод реки Аргунь (Хайлар) в озеро Далай в трансграничной Даурии.

Материалы космических съемок с высоким пространственным разрешением на местности (1—3 м), как правило, предназначены для служебного пользования. Они позволяют получать высокоточную подробную информацию, широко применяемую в различных областях знаний и хозяйственной деятельности (от военно-разведывательных целей до решения задач кадастра недвижимости), но малоинформативны в природно-ресурсных, например геологических и инженерно-геологических исследованиях, которые требуют определенного уровня генерализации изображений. Последняя проявляется в демаскирующей роли растительности и следов техногенной деятельности и на первый план выходят особенности структуры геомассивов (тектоническая структура, экзоформенез).

Космические фотоснимки с высоким пространственным разрешением на местности позволяют получать подробные данные за счет ухудшения выявления крупных особенностей ландшафтно-структурного строения природно-территориальных комплексов. Например, можно выявлять характер застройки территорий, детали хозяйственной деятельности, строение дна и пойм рек, исследовать русловые процессы, подробно изучать элементы микроландшафта.

Однако получить достаточно полную геоинформацию о мезо- и макрорельефе и геоструктуре массивов горных пород, в том числе закономерности инженерной геодинамики, из КФС с высоким пространственным разрешением невозможно.

Насущная потребность в материалах космической съемки привела к появлению за последнее десятилетие целой плеяды космических аппаратов, обеспечивающих съемку с невиданным ранее разрешением. Уже запущен космический аппарат [GeoEye-1](#), который обеспечивает разрешение 0.41 м и высочайшую точность координатной привязки изображений 3 метра без опоры. Такие возможности идеально пригодны для нефтегазового комплекса при решении многих задач.



*Рисунок 2. Снимок GeoEye-1, Ханты-Мансийск*

Поэтому в настоящее время применяют комплексные космические съемки, предполагающие получение информации различного уровня пространственного разрешения на местности.

### **1.2.2 Комплексное аэрокосмическое зондирование.**

По уровню подробностей и полноты информации материалы космических съемок (даже с разрешением 1—3 м) на местности пока не позволяют обеспечить требуемый для составления крупномасштабных карт и планов местности объем как топографо-геодезической, инженерно-геологической, так и геоэкологической информации. Поэтому в практике проектно-изыскательских работ в комплексе с космической применяется и аэросъемочная информация, получаемая с самолетов, вертолетов, дирижаблей и дельтапланов.

Комплекс новых технологических методов аэрокосмического зондирования АКЗ включает в себя различные схемы сочетания космической съемки (КС), многозональной аэросъемки (МАС), спектральной и обычной черно-белой аэрофотосъемки (АФС), а также тепловой инфракрасной аэросъемки (ТИКАС). Эти методы имеют первостепенное значение в комплексе инженерно-технологических, инженерно-геологических изысканий, регламентируются СНиП 11-02—96 (Инженерные изыскания для строительства. Основные положения), СНиП 11-102—97 (Инженерно-геологические изыскания для строительства) и при анализе ПТС согласуются с проведением наземных полевых топографо-геодезических, геофизических, инженерно-геологических, гидрологических, экологических работ и метеорологических наблюдений (в последние годы на смену фотографическим съемкам приходят современные цифровые аэро и космическая съемки).

*Многозональная аэросъемка (МАС)*, выполняемая с самолетов в четырех диапазонах электро-магнитного спектра, за счет синхронной съемки в узких интервалах спектра (0,40—0,85 мкм) — в синем, зеленом, желто-оранжевом и инфракрасном диапазонах — позволяет фиксировать изменчивость влаготеплопереноса поверхностей рельефа и слагающих их грунтов (увлажненность, набухаемость, льдистость и др.), связанную с динамикой их

теплопроводности и влажности во взаимосвязи с техногенной нарушенностью ландшафтов.

К дистанционным методам изучения динамики осыпей относятся методы аэрофотосъемки, выполненные в разное время, по которым можно следить за скоростью смещения осыпей. С помощью многозональной аэрофотосъемки удастся изучить детали проявления осыпных явлений на различных, в том числе труднодоступных территориях. Пример такого снимка показан ниже (рис.1).

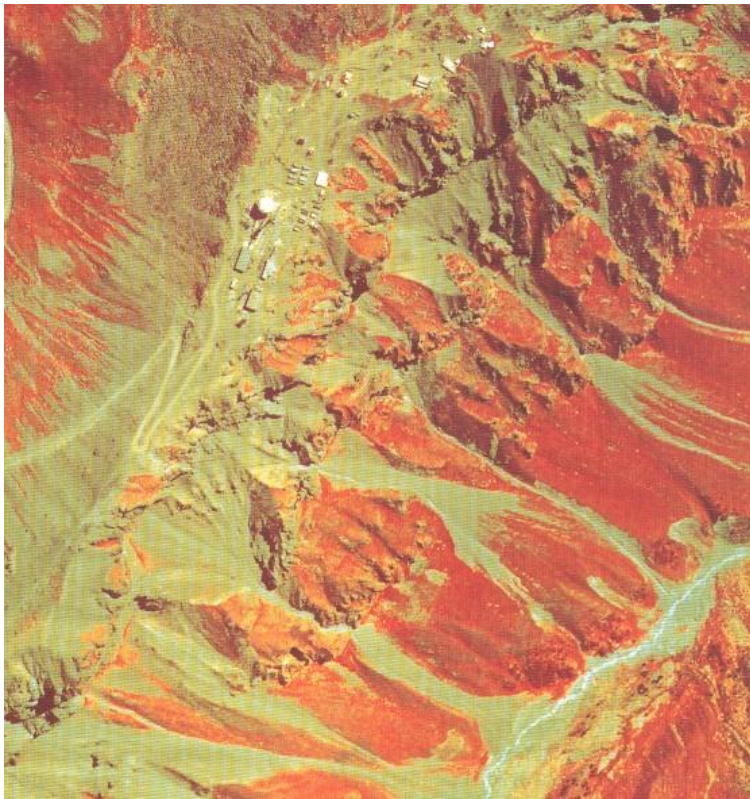


Рис. Фрагмент синтезированного многозонального аэрофотоснимка участка проявления осыпных процессов (зеленоватые шлейфы, потоки, конусы) в Приэльбрусье



Аэрофотоснимок \_ русловые процессы.

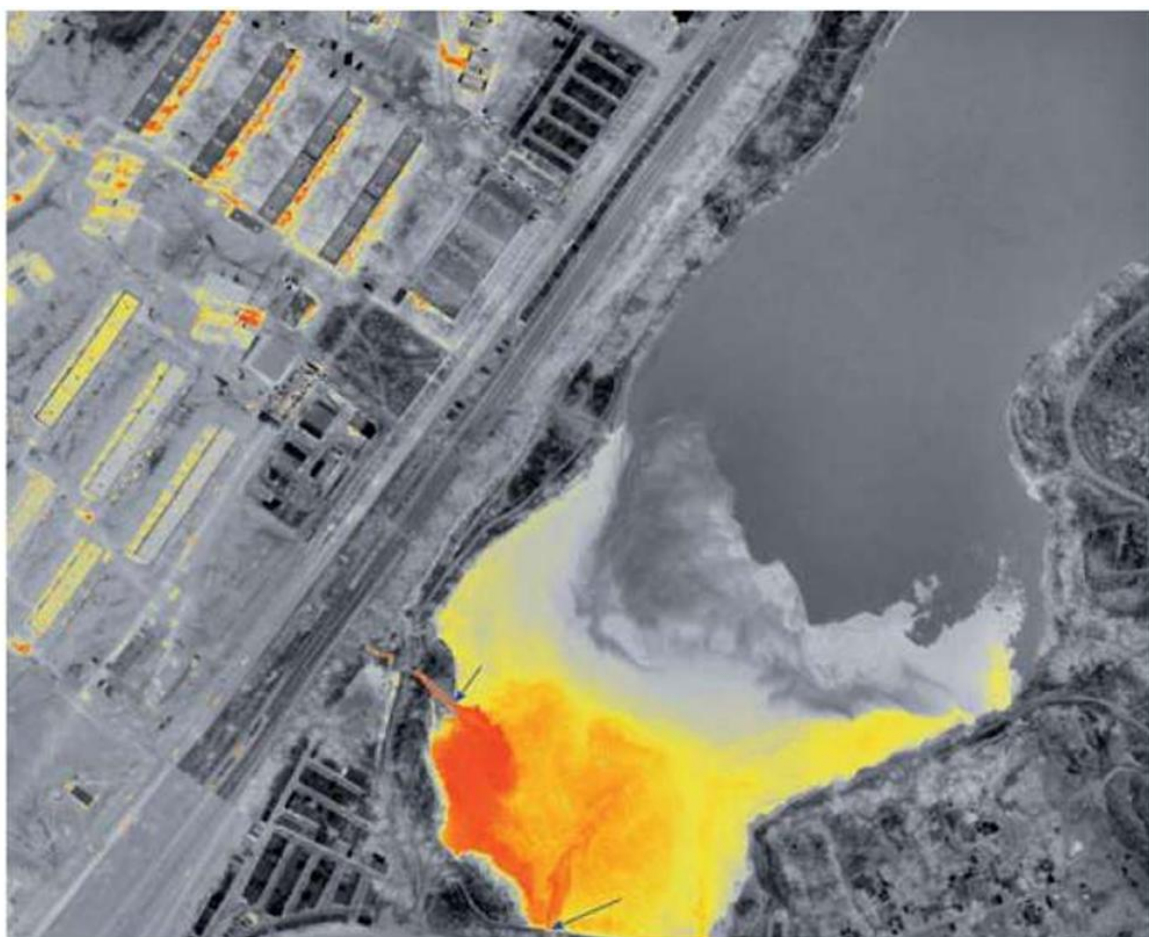
*Спектрональная и обычная аэрофотосъемки (АФС).*



Аэроснимки с натуральным (цветные) и преобразованным (спектрональные) цветовоспроизведением местности, полученные в летнее время. Аэроснимки одного и того же всхолмленного участка в полосе

смешанных лесов; видны небольшой населенный пункт, перелески, поля и др. На цветном аэроснимке (слева) дома распознаются уверенно, древостои по породам на разделяются, посевы мало дифференцируются. На спектральном аэроснимке (справа) дома распознаются не полностью, древостои разделяются благодаря условной цветопередаче (сосняки — темно-зеленые, дубравы — желто-коричневые), посевы дифференцируются.

*Тепловая инфракрасная аэросъемка (ТИ КАС)*, выполняемая с помощью тепловизионных систем, позволяет получать информацию в невидимой части электромагнитного спектра (3—5,8—13 мкм) о распределении тепловых полей на видеоизображениях и идентифицировать возможные деформации на основе исследования динамики тепловых полей, создаваемых природными и техногенными объектами. В настоящее время начинает применяться радиолокационная аэросъемка (РЛС), эффективность которой обеспечивается при комплексировании с другими методами. Она возможна при плохих метеоусловиях и в ночном режиме, когда нельзя осуществлять другие виды аэросъемок.



**Рис. 2. Выявление сбросов в реки и водоемы**

Выявление сбросов в водоем с помощью тепловой инфракрасной аэросъемки (Пируева, 2011)

Аэросъемочный комплекс монтируется на борту практически любого судна малой авиации (вертолеты Ми-8, Ка-26, Ка-32, самолеты Ан-2, ИЛ-14 и др.). В ряде случаев (самолет Cessna 172D или вертолет Ми-2) аппаратура монтируется вне фюзеляжа (рис. 2).

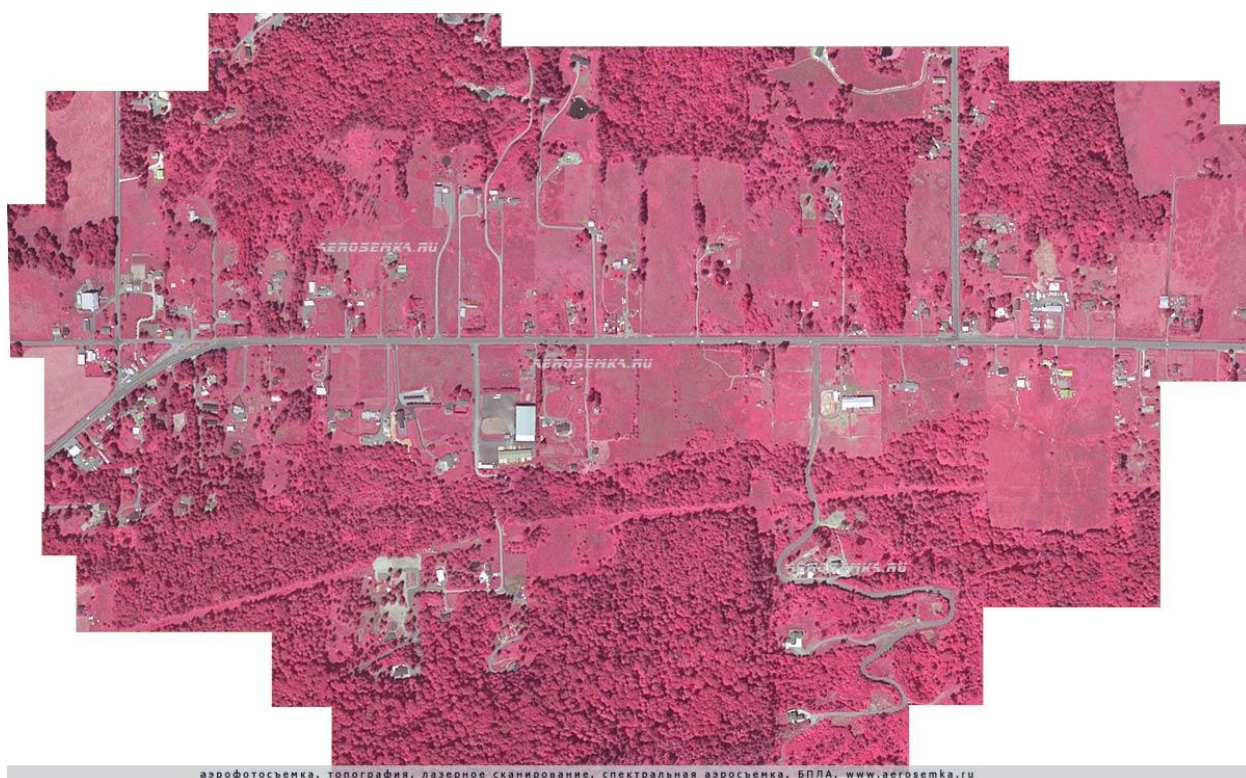


Рис. 2. Внефюзеляжный монтаж тепловизора ИКАР-002 на самолете Cessna-172D.



## *Новая разработка последних лет — гиперспектральная аэросъемка*

— позволяет на порядок увеличить объем получаемой информации за счет использования до 1000 каналов в диапазоне 0,3—1,5 мкм



Для сравнения — при многозональной аэросъемке (МАС) информацию получают в шести диапазонах). Это дает возможность весьма детально изучать изменчивость параметров при родных и техногенных компонентов ПТС

**Наиболее эффективным является комплексное АКЗ**, включающее в себя одновременные съемки в широких масштабных и спектральных диапазонах с помощью многоспектральной аппаратуры, монтируемой на специальных космических спутниках и самолетах-лабораториях.

В настоящее время получает распространение лазерное сканирование местности и инженерных сооружений с летательных аппаратов, позволяющее получать трехмерные изображения, что, с одной стороны, вместе с материалами АКЗ существенно повышает эффективность их интерпретации за счет возможности получения точных цифровых моделей местности только на основе аэрокосмической информации, а с другой, позволяет значительно

сократить объемы наземных топографо-геодезических изысканий, локализовав их на наиболее сложных участках проектирования и для проверочных работ. Широкое внедрение лазерного сканирования в комплекс АКЗ — прямой путь к полной автоматизации процесса проектирования.

### **Комплекс аэросъёмочного оборудования RiegI CP-680i**



**Блок управления**



**Блок сенсоров**



Воздушный лазерный сканер Ortech ALTM Gemini



Воздушное лазерное сканирование, установка оборудования на МИ-8



Установка аэросъёмочного оборудования на самолет АН-2, измерение офсет параметров

**Результатом воздушного лазерного сканирования** является 3D массив точек лазерных отражений, классифицированный по признаку «земля/не земля» плотностью до нескольких десятков точек на 1 кв.м и точностью определения их координат менее 10 см в плане и по высоте. Фактически это цифровая модель истинного рельефа высокой плотности и точности, основа для ортофотопланов, цифровых топографических планов масштабов 1:500 и мельче, трехмерных моделей рельефа и объектов.

Скорость полёта	90-150 км/ч
Точность получения координат*	5-10 см
Точность определения высоты*	10-15 см
Плотность точек на 1 м <sup>2</sup> поверхности*	5-10
Высота съёмки	200-6000 м
Ширина полосы съёмки	93-115% от высоты съёмки
Обработка	до 10 км (человеко-день)
* при высоте съемки 500-1000 м	

Широкий спектр аэрокосмической информации обеспечивает большие возможности использования ее для транспортных коммуникаций, начиная от изысканий и проектирования, организации строительства железных дорог до управления движением поездов и мониторинга транспортной инфраструктуры. Материалы АКЗ предоставляют:

- ландшафтную, топографическую, геологическую, гидрогеологическую информацию с оценкой тектонической, инженерно-геологической, геокриологической и иной природной обстановки;
- пространственную картографическую (координатную) информацию для трассирования коммуникационных линий, развития станций и узлов, для реконструкции железнодорожных линий под скоростное движение поездов;
- информацию о расположении дорожных коммуникаций, объектов транспортной инфраструктуры (мостов, тоннелей, зданий), линий энергоснабжения и связи, а так же о перемещении железнодорожных экипажей (в реальном времени);
- информацию о динамике состояния дорожной инфраструктуры с изменениями координатных, деформативных, экологических, чрезвычайных

ситуаций (аварийных, ливневых, паводковых разрушениях, лесных пожарах и др.)

Технология применения комплексного АКЗ для обоснования проектных решений в железнодорожном строительстве в общем виде отражена на рис.2.4.1. Ее вариации определяются ландшафтно-экологическими и инженерно-геологическими особенностями района строительства, стадиями создания или эксплуатации сооружений.

## **2.1 Основное понятие космического мониторинга**

**Космический мониторинг — мониторинг с помощью космических средств наблюдений.**

Для получения наиболее полной геоинформации и доста точной для обоснования инженерных и управляющих решений с учетом целей и задач изыскательских и проектных работ комплексное АКЗ необходимо выполнять в системе мониторинга железнодорожной ПТС, т.е. постоянно действующей системы визуальных и инструментальных наблюдений за динамикой взаимодействия природной и технической составляющих ПТС.

Мониторинг ПТС осуществляется на тех железнодорожных магистралях, где развитие природных и техногенных процессов создает угрозу бесперебойному функционированию сооружений и может нанести материальный и экологический ущерб не только железной дороге, но и окружающей природно-социальной среде.

### **Принципы мониторинга природно-технических систем**

Суть концепции мониторинга

ПТС можно выразить в виде следующих условных принципов:

- комплексность;
- систематичность и периодичность;
- автоматизация получения и обработки данных с широким использованием современных информационных технологий.

**Комплексность.** Применительно к ПТС данный принцип требует, что бы в качестве объектов мониторинга рассматривались все элементы ПТС (сооружения и природная составляющая) как взаимообусловленная система — верхнее строение пути, земляное полотно, сооружения железнодорожной инфраструктуры во взаимодействии с основанием и прилегающим геомассивом на всей площади влияния развивающихся в нем природных и техногенных процессов.

Комплексный подход позволяет дать правильную оценку и прогноз работы сооружения под нагрузками, будь то мостовая конструкция, подземное сооружение или магистраль в целом (земляные сооружения, верхнее строение пути, система электрификации, транспортные коммуникации).

### ***Систематичность и периодичность.***

Опыт по след них 10—15 лет показал, что на этапах обоснования инвестиций и разработки проектной документации не всегда удастся точно обосновать прогнозные схемы взаимодействия конструкций и сооружений с природными факторами, в частности с геологической средой и климатическими параметрами.

Стремительно изменяющийся климат планеты и повышенная сейсмическая активность, которые сопровождаются интенсификацией опасных природных и природно-техногенных процессов (оползней, селей, лавин, наводнений, проседаний поверхности земли в мегаполисах), **являются причинами быстрого устаревания инженерногеологической и природноресурсной информации**, закладываемой в проекты транспортных сооружений.

Своевременное обновление этих данных далеко не всегда возможно, поэтому проведение специальных исследований по методологии мониторинга природно-технических систем весьма актуально, причем это необходимо делать постоянно во времени, т. е. циклично на разных этапах строительства и эксплуатации сооружений, начиная

от периода завершения строительства (I этап),

далее в период временной эксплуатации сооружений (II этап)  
и в предреконструкционный период (III этап).

Между этими обязательными этапами организации, осуществляющие постоянную эксплуатацию сооружений, могут быть выполнены специальные дополнительные мониторинговые исследования для контроля технического состояния сооружений и окружающей среды в случаях возникновения нештатных ситуаций (отказов работы сооружений, обнаружения дефектов, природных аномалий, имеющихся данных о возможных террористических актах и т.п.).

***Автоматизация получения и обработки данных с широким использованием современных информационных технологий.***

Получившие приоритет во всем мире информационные технологии в системе мониторинговых исследований являются стержневой основой методологии мониторинга, базирующейся на быстром получении высокоточной информации о состоянии параметров объекта (качественных и количественных), в том числе напряженно деформированного состояния конструкций и узлов сооружений, что осуществляется методами неразрушающего контроля с применением соответствующей диагностической аппаратуры.

На протяженных линейных объектах, сооружаемых в сложных природных условиях (в зонах интенсивной геодинамики, в трудно доступных условиях горного рельефа, таежных и болотистых территориях применение комплексного АКЗ позволяет своевременно выявить участки возможных предаварийных и аварийных ситуаций, на которых впоследствии проводятся работы по оценке состояния конструкций и сооружений методами их неразрушающего контроля.

.