

**Аэрокосмическая геоинформация о развитии склоновых, тектонических и мерзлотных процессов. Прогнозирование аварийных ситуаций на железных дорогах под влиянием опасных природных процессов**

**1. Общие положения**

В целях охраны окружающей среды и рационального природопользования Российской академией наук совместно с Роскосмосом, Роскартографией, Росгидрометом разрабатывается система многоцелевого космического мониторинга, опирающаяся на геосистемный (ландшафтный) подход и многоярусное картографическое моделирование, отражающее природно-техногенные условия территории России.

Одним из специальных применений этой системы является **геотехническая безопасность и инженерная защита территорий и сооружений.**

*Внешне техническое состояние сооружений в ряде ситуациях может быть идеальным, хорошо гармонировать с окружающей средой, не предвещать никакой опасности для их устойчивости и точки зрения строителя (прораба, мастера и даже руководителя проекта) не внушать никаких опасений. Однако только профессиональный анализ таких ситуаций путем интерпретации материалов АКЗ позволит идентифицировать подобные ситуации именно как предаварийные.*

Предаварийная ситуация → аварийная ситуация → авария (деформации сооружений).

**2. Аэрокосмическая геоинформация о развитии тектонических процессов**

На территории России наиболее разрушительные последствия для железнодорожных сооружений связаны с большой группой природных процессов, развитие которых обусловлено влиянием климатических, геолого-структурных, стратиграфо-литологических, гидрогеологических и гравитационных факторов.

Эти процессы получили наименование опасных геологических процессов. Среди них:

проявления современной **сейсмотектоники** (вертикальные и горизонтальные смещения массивов горных пород поразломам);

склоновые процессы (оползни, обвалы, осыпи, ледниково-гляциальные смещения по горным склонам, сели);

овражная эрозия; размывы берегов морей и водохранилищ;

карст и суффозионно-просадочные явления;

мерзлотные процессы.

Материалы АКЗ предоставляют в относительно сжатые сроки высокоточную информацию:

о степени подверженности инженерных сооружений воздействию проявлений этих процессов,

позволяют оценить их активность и опасность для сооружений и окружающей среды,

исследовать их динамику и на основе мониторинга выявить те стадии, которые способны вызвать при родно-техногенные аварии и катастрофы.

Более 30 % территории России подвержены 7-балльным сейсмическим воздействиям (требуются противосейсмические мероприятия) и 15 % территорий — 8—9-балльным и выше. Это районы Дальнего Востока, Юга Сибири, Северного Кавказа.

Выявление активных тектонических разломов, детализация их строения и инженерная оценка для размещения транспортных сооружений.

Может быть получена в результате индикационного анализа материалов АКЗ.

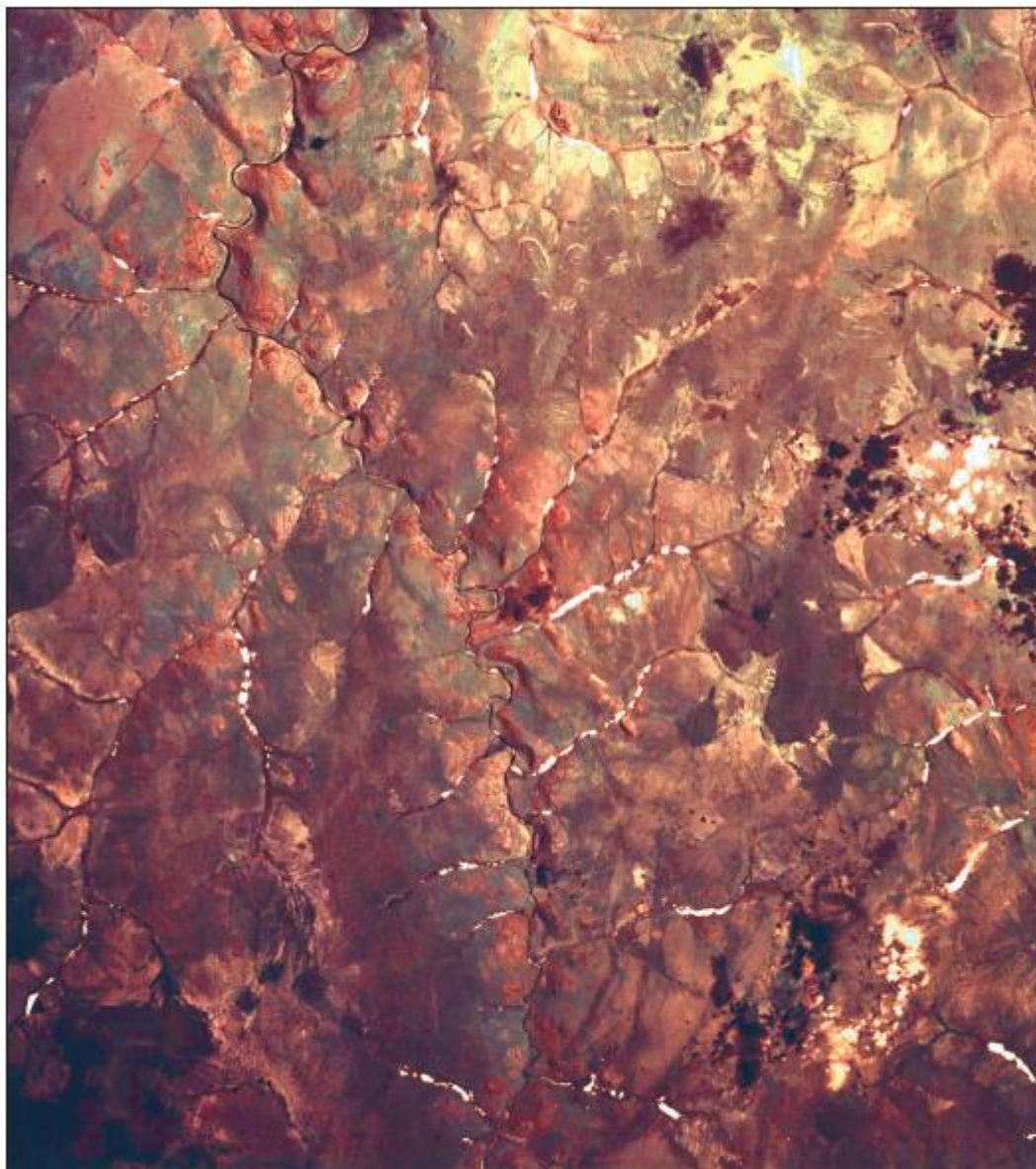
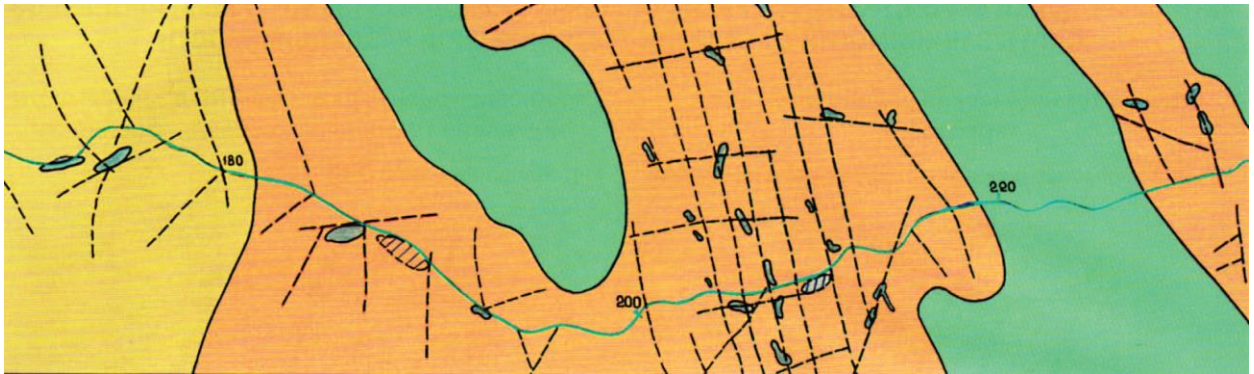


Рис. 1. КФС участка железной дороги Беркабит—Томмот. Обнаруживается связь наледообразования подземных вод (белые вытянутые пятна) с обводненными тектоническими разломами, трассируемыми по геолого-геоморфологическим признакам.



Рис. 2. МАС наледи Подпитка наледи осуществляется за счет притока вод из карстовой воронки (темное пятно в верхней правой части снимка), в днище которой отмечен выход подземных вод по тектонически обусловленной трещине. В данном случае и карст, и наледообразование связаны с тектонической трещиноватостью.

По данным интерпритации КФС для этого случая была составлена карта вероятности наледной опасности в зависимости от тектонической раздробленности.



Развитие и локализация проявлений гравитационных процессов (**обвалов, осыпей, блоков оседания склонов, оползней**) линейного характера являются индикатором активности разломов.

В этих зонах наблюдается особый характер теплового и водного режима, который способствует изменению прочностных свойств горных пород, их выветриванию, обводнению, тиксотропности, набуханию и гравитационному смещению.

Наибольшую опасность для инженерных сооружений представляют землетрясения с гипоцентрами от 15—20 до 50—70 км.

С помощью АКЗ удастся идентифицировать специфические сейсмогенные формы рельефа и очертить контуром очаги сильных землетрясений.

Применение комплексного АКЗ существенно расширяет возможности оценки состояния объектов, среды и развития процессов. Сочетание различных видов съемки позволяет получать дополнительную информацию.

Например, по результатам анализа комплекса снимков МАС и ТИ КАС в свое время был обнаружен обводненный разлом (с шириной зоны дробления пород до 800 м) по трассе Северо-Муйского тоннеля БАМ, что позволило обосновать водозащиту проходческих работ и предупредить возможные аварийные ситуации.

*Опыт строительства транспортных тоннелей в горных районах России и за рубежом показал, что во многих случаях данные наземных изысканий недостаточно полно отражают истинный характер инженерно-*

*геодинамической и гидрогеологической обстановки районов проложения трасс тоннелей. Это связано с тем, что буровые и опытные работы в условиях горно-складчатых областей не всегда проводят на участках, представляющих*

*наибольшую опасность для проходки тоннелей. Как правило, эти участки приурочены к зонам разломов, а изыскания проводят нередко «вслепую» и часто не пересекают их. Кроме того, общеизвестно, что большая часть изыскательских работ сконцентрирована в припортальных участках, а на значительных по протяженности участках трасс тоннелей их либо вообще не проводят, либо выполняют в небольших объемах. Недостаточная полнота*

*материалов для обоснования трассирования тоннелей в ряде случаев приводила к серьезным ошибкам в проектировании, которые влекли за собой значительные человеческие жертвы, материальные убытки и снижение темпов строительства.*

В ходе многолетних исследований по применению АКЗ было установлено, что наиболее интенсивные природные процессы, развитие которых обусловлено влиянием подземных вод и выветривания, гравитацией и специфическими свойствами горных пород (вдоль тектонических разломов), хорошо отображаются на крупномасштабных космических фотоснимках и локализируются в своем развитии в зонах простирающихся тектонических разломов.

Приуроченность проявлений этих процессов к разломам является индикационным признаком их активности: обводненности, раздробленности горных пород, способности массивов горных пород к вертикальным и горизонтальным деформациям, в том числе сеймотектоническим.

Именно с этим связывается установленное в ряде регионов активное проявление оползней, обвалов, карста и даже селей в зонах разломов.

### 3. Аэрокосмическая геоинформация о развитии склоновых процессов

#### **Оползни.**

В горных и предгорных массивах широко распространены оползни, которые могут привести к полному разрушению железнодорожных сооружений.

Существует множество классификаций оползней:

по механизму смещения оползневых масс (оползни скольжения, выдавливания, течения, поверхностные оползни — срывы и сплывы);

по структуре сместившихся масс (блоки, гряды, потоки);

по глубине захвата пород смещением (глубокие с захватом коренных толщ до 50 м; поверхностные в рыхлых отложениях, с глубиной захвата пород до 3 м);

по структуре рельефа оползневых очагов и морфометрии элементов оползневого рельефа (цирко-образные, фронтальные, глетчеровидные, каплевидные);

по скорости смещения (быстрое и медленное смещение);

по относительному возрасту (древние, стабилизировавшиеся более 100 лет назад; давние, образовавшиеся в последние 100 лет с признаками фаз более свежих активизаций; свежие (молодые), образовавшиеся в текущем десятилетии).

Каждую из этих классификаций по характерным признакам оползневых форм и ландшафтным особенностям оползневых очагов можно использовать при интерпретации материалов АКЗ. В этом направлении накоплен весьма значительный опыт.

Снимок сделан 1.10.99 г. камерой КФА-1000 с космического аппарата "Ресурс"



Снимок сделан 24.10.95 г. камерой МК-4 с космического аппарата "Ресурс-Ф"



Оценка динамики оползневой процесса вблизи участка СКЖД (ст. Александровка) и прилегающих автодорог по данным космической съемки в целях прогноза возможности деформации инженерных сооружений

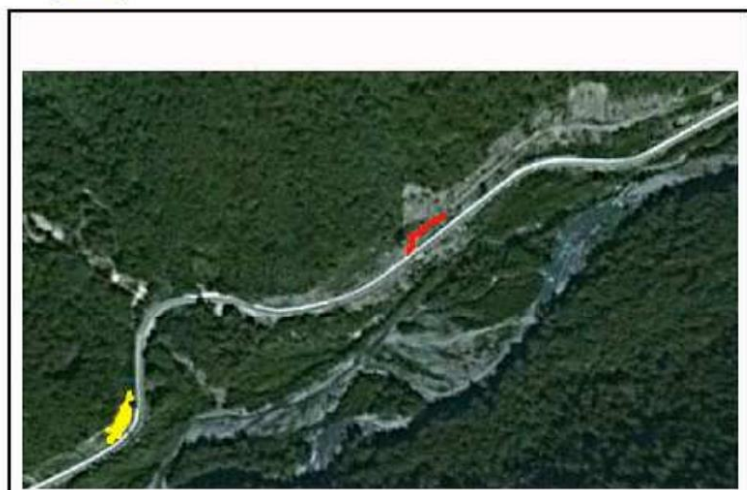


В период активной фазы строительства инфраструктуры в районе Адлер – Красная Поляна для проведения зимних олимпийских игр разработка системы мониторинга развития оползневых процессов в зонах, соприкасающихся с железной и автомобильной дорогами, приобретает безусловную актуальность. Использование опорных наземных данных в период космической съемки КА Quick Bird позволило выявить области оползневой опасности

**Участок автодороги Сочи – Красная Поляна, Краснодарский край  
КА Quick Bird 17. 09.2006**



участки оползней течения и склоновых оползней



Согласно разработанным методикам по материалам АКЗ определяются конфигурация оползневого склона по форме в плане участка.

При интерпретации индикаторами служат форма оползня в плане, структура сместившихся масс, характер смежных участков поверхности, незатронутых оползневой смещением, особенности проективного почвенно-растительного покрова и его нарушенность.

По морфологической структуре и механизму смещения уточняются типизация оползней, относительный возраст, активность процессов и на основании факторного анализа причинно-следственных связей прогнозируется дальнейшая динамика оползневого процесса

### **Осыпи и обвалы.**

Осыпи, камнепады и обвалы характерны для районов распространения скальных и полускальных пород грунтов и проявляются на крутых склонах гор, от косов выемок, бортов карьеров.

Осыпи являются результатом выветривания и дробления трещиноватых скальных уступов, карнизов с образованием обломков щебня, песка и последующим скатыванием их вниз с формированием различных аккумулятивных форм рельефа.

Склоны могут быть сложены продуктами горного выветривания:

- элювием — раздробленным материалом, остающимся на месте;
- пролювием при смещении материала выветривания к основанию склона под влиянием сил гравитации (формируя осыпи);
- делювием при смещении поверхностными водами;
- аллювием — осадочными отложениями наносов.

Осыпи определяются визуально на крупномасштабных аэроснимках, имеют хорошо выраженные формы проявления в ландшафтах (осыпи-потоки, осыпи-треугольники, осыпи шлейфы, осыпи чехлы, осыпи пятна) и служат достоверными индикаторами возможных деформаций пород скальных массивов.

Пример такого снимка показан ниже

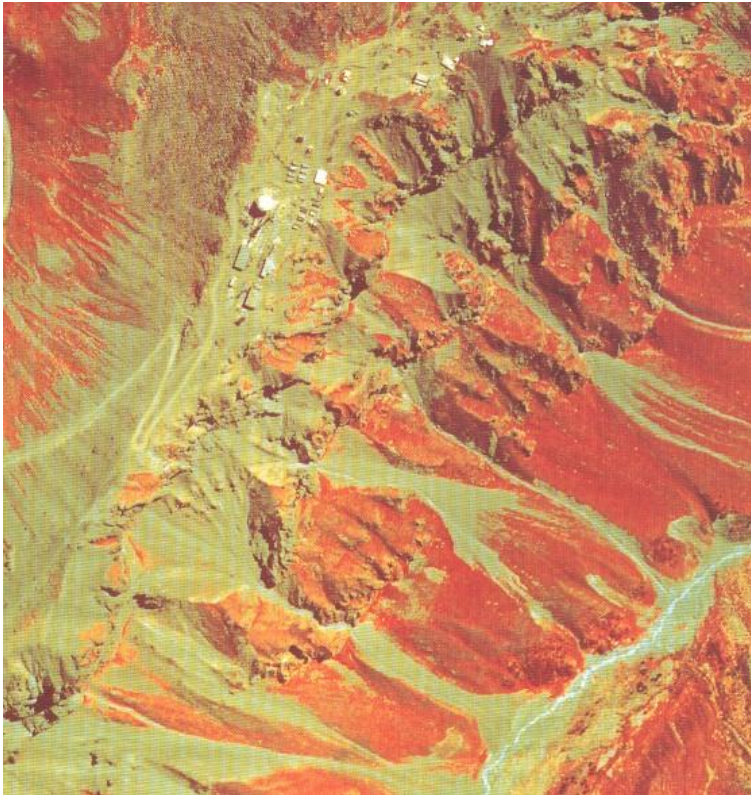


Рис. Фрагмент синтезированного многозонального аэрофотоснимка участка проявления осыпных процессов (зеленоватые шлейфы, потоки, конусы) в Приэльбрусье

Осыпи-потоки при скоростном характере проявления могут вызвать загромождения железнодорожного пути, а осыпи-шлейфы — более объемные смещения откосов и склонов. Осыпи активно проявляются в горах Кавказа, Забайкалья и Южной Сибири.

**Под обвалом** понимается обрушение отдельных глыб, блоков и крупных объемов горных пород с крутых и отвесных склонов под действием силы тяжести, непосредственно по воздуху, без соприкосновения с поверхностью склона или путем скатывания крупных глыб по склонам.

Например:

*В процессе строительства БАМа в результате нарушения строительной технологии при сооружении искусственных выемок и полувыемок в скальных породах буро - взрывным способом (что привело к значительному превышению (по сравнению с проектной) мощности зарядов при взрывах) резко активизировались процессы физического выветривания, обваливания, осыпания и оползания откосов выемок. Это привело к возникновению критических ситуаций в состоянии ПТС БАМ. На перегоне между ст. Дюгабуль и ст. Чильчи протяженностью около 150 км (Центральный*

*БАМ) был зафиксирован обвал откоса железнодорожной полувыемки (на 2115 км этой трассы). На железнодорожный путь обрушилось 2000 м<sup>3</sup> скальной породы, возникли деформации верхнего строения пути и опор притрассовой ЛЭП. На рис. 5.6.1 приведен фрагмент МАС этого участка, где видно, что опасность возникновения новых обвалов сохраняется не только на данном участке, где он уже произошел, но и по всему протяжению откосов полувыемок, где обвалов не было, но вероятность их возникновения высокая (синий цвет на снимке). Всего таких обвало-опасных участков на данном 150-километровом отрезке трассы насчитывалось на момент аэросъемки более 30.*

*Последующий анализ космических снимков показал, что исследуемый отрезок трассы БАМ пролегает в условиях среднегорного и низкогорного гольцового рельефа тектонически раздробленных блоков устойчивых поднятий в скальных магматических и метаморфических породах. На рис. 5.6.2 приведен фрагмент карты оценки подверженности трассы БАМ развитию неблагоприятных природно-техногенных процессов, составленной по данным интерпретации космического фотоснимка. На карте выше рассмотренный участок, входящий в зону повышенной обвалоопасности и показанный на рис. 5.6.1, помечен кружком в правом нижнем углу. Из анализа карты видно, что и данный исследуемый участок трассы, и ряд других участков (заштрихованы в полосе трассы), где отмечена*

*активизация гравитационных процессов, находятся в зонах, пересекаемых локальными разломами.*

### **Лавины и глетчеры.**

Под воздействием снега и льда в горных условиях возможно активное образование снежных лавин и смещение каменных глетчеров.

Снежные лавины загромождают трассы автомобильных и железных дорог, создают аварийные ситуации.

Скорость схода лавин достигает 350 км/ч, а сила ударной волны — 1,1 Мпа при их линейных размерах 1—3 км и ширине несколько десятков (и даже сотен) метров.

Материалы АКЗ позволяют на больших площадях выделять весьма контрастные снеговые объекты, создавая основу для картографирования и лавинных, селевых кадастров.

Дешифрирование аэрокосмических фотоснимков позволяет определять следы схода лавин, сети лавинных элементов (лавиносор, лоток, конус выноса), их морфологию, относительные параметры, густоту сети лавинных логов (до 5 и 10 логов на 1 км).

В качестве индикаторов используются снежники, заполняющие лавинные лога, концевые — на конусах выноса, снежные «мосты» на реках, а так же лавинные прочесы в лесу и другие признаки.

**Возможны каменные глетчеры**, которые представляют собой смещения спрессованных льдом крупно-обломочных материалов по склонам высокогорий в горно-ледниковом поясе.



Размеры глетчеров достигают в длину 1 км. Ширина в головной части — до 100 м, в языковой — до 10 м, толщина — до 30 м, скорость смещения — десятки метров в год.

На материалах АКЗ глетчеры в натуральных ландшафтах физиономичны и отчетливо определяются при рекогносцировочных изысканиях и фиксируются при картографировании.

Смещение глетчера подобно движению ледника, который вспахивает вниз по склону днище долины, подрезая склоны, ослабляя их устойчивость и оставляя грубообломочные несортированные и легкоразмываемые материалы (в виде морен).

Так, в верховьях Кауридонского ущелья расположен комплекс, состоящий из пяти современных активных каменных глетчеров.

Подробнее: <http://region15.ru/articles/3208/>

## **Сели.**

Сели представляют собой временные горные русловые потоки (горные паводки), характеризующиеся высоким содержанием воды, твердого материала, а так же камней, деревьев и других включений. Загромождая железнодорожный путь, сели создают аварийные ситуации.

Различают сели:

- грязевые,
- грязекаменные (с совместным отложением твердых и жидких фаз) и
- водокаменные (с отделением воды в потоке и отложениях).

Осыпи, обвалы, глетчеры, другие гравитационные смещения горных (раздробленных) пород являются источником пополнения твердой составляющей селевых потоков. Определяющими факторами формирования селей являются рыхлый обломочный материал (продукты горного выветривания) на горных склонах и гидрометеорологические условия — ливневые дожди, интенсивное таяние снега и ледников.

По материалам аэрокосмических съемок выполняется типизация водосборных бассейнов, изучаются морфология селеобразования, селеопасность территорий, активность и динамика селей: определяются зоны аккумуляции селевого материала, селевые русла, конусы выноса. (более точно со снимками МАС).

Экспериментальная отработка технологии диагностики в условиях опасных склоновых процессов и возможного схода селей осуществлялась на перегоне Туапсе-Адлер Северо-Кавказской железной дороги.

Фотоматериалы с мест аварий лишь подтверждают недостаточность (несоразмерность угрозам, определенных по материалам мониторинга) выбранных конструкций инженерных сооружений и достоверность прогноза.



По результатам комплексной интерпретации факторов селеобразования составляются карты селеопасности, используемые для обоснования проектных решений.





Рассмотрим этот аспект на примере развития карстов.

*Например, несмотря на достаточно развитые методы и принципы оценки овражной эрозии, последней, в комплексе опасных природных процессов, не уделяется должного внимания как разрушительному процессу, развитие которого может привести к аварийным ситуациям при эксплуатации инженерных сооружений. Такая ситуация фиксируется действующими нормативными документами по инженерным изысканиям в строительстве и проектированию инженерной защиты. Однако, распространенность овражной эрозии и обусловленность её активизации, во многом, не рациональным техногенезом, обуславливает её достаточно важное место в ряду опасных природных процессов.*

**В 2007 и 2008 гг.** на отдельных участках Горьковской железной дороги зафиксированы три карстовых провала, а в **2005 и 2009 гг.** – **восемь случаев** вынужденного прекращения движения поездов, связанных с разрушением (как минимум) верхнего строения пути **под воздействием селеобразований** и проявлением опасных склоновых процессов.

...Все перечисленные аварийные ситуации были заблаговременно идентифицированы, причем – с наивысшим уровнем риска потери устойчивости земляного полотна.



Тоже мы можем говорить и о ряде других природных процессов, под воздействием которых находятся протяженные транспортные системы. В связи с этим, возникает актуальная необходимость анализа причинно-следственных связей инженерных сооружений опасных природных явлений типичных для России.

<http://piligrim-andy.narod.ru/text/obval.html>