



Аэрокосмические методы мониторинга чрезвычайных ситуаций



Максим ЖЕЛЕЗНОВ
Maxim M. ZHELEZNOV

Валентин ПОНОМАРЁВ
Valentine M. PONOMAREV



Железнов Максим Максимович – кандидат технических наук, доцент, заместитель начальника управления научно-исследовательской работы Российского университета транспорта (МИИТ), Москва, Россия.

Пономарёв Валентин Михайлович – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой управления безопасностью в техносфере Российского университета транспорта (МИИТ), Москва, Россия.

Aerospace Emergency Monitoring Methods
(текст статьи на англ. яз. – English text of the article – p. 222)

В статье приводится сравнительный анализ факторов природно-техногенного характера, приводящих к возникновению чрезвычайных ситуаций на железнодорожном транспорте. Рассматриваются вопросы информационно-технологического обеспечения мониторинга и сбора данных о состоянии потенциально опасных участков железнодорожного пути с использованием аэрокосмических технологий.

Ключевые слова: аэрокосмический мониторинг, железнодорожный путь, безопасность, чрезвычайные ситуации, технологии контроля.

Обеспечение устойчивости перевозочного процесса и предотвращение чрезвычайных ситуаций (ЧС) является актуальной задачей для железнодорожного транспорта. Инновационные технические решения, применяемые для задач мониторинга протяжённых участков железнодорожного пути, позволяют достичь максимального интегрированного эффекта для безопасности движения поездов и предупреждения ЧС.

Актуальность мониторинга железнодорожного пути, потенциально опасных объектов и явлений на прилегающих к нему территориях определяется необходимостью реализации повышенных требований к безопасности движения и, в частности, к геометрическим параметрам устройств пути большой протяжённости на строящихся и функционирующих грузонапряжённых магистралях, а также предупреждения техногенных катастроф и масштабных негативных последствий природных явлений [1].

Возникновение природно-техногенных чрезвычайных ситуаций на железнодорожном транспорте обусловлено рядом

Таблица 1

ЧС по характеру и виду источников возникновения	Количество ЧС			Погибло		Пострадало	
	2016	2015	%	2016	2015	2016	2015
Техногенные	177	179	-1,12 %	708	656	3970	1629
Природные	54	45	20,00 %	3	43	126465	18114
Биолого-социальные	67	33	103,03 %	75	0	503	1041
ИТОГО:	298	257	15,95 %	786	699	130938	20784

Таблица 2

ЧС по характеру и виду источников возникновения	Количество ЧС			Погибло		Пострадало	
	2016	2015	%	2016	2015	2016	2015
Землетрясения, извержение вулканов	0	0	0,00 %	0	0	0	0
Опасные геологические явления	2	0	+ 2	0	0	0	0
Повышение уровня грунтовых вод	0	3	-100,00 %	0	0	0	1742
Бури, ураганы, смерчи, шквалы, сильные метели	6	4	50,00 %	0	1	383	1229
Сильный дождь, сильный снегопад, крупный град	21	11	90,91 %	3	1	78818	8989
Снежные лавины	0	0	0,00 %	0	0	0	0
Заморозки, засуха, суховей, пыльные бури	7	16	-56,25 %	0	0	0	0
Морские опасные гидрологические явления	0	0	0,00 %	0	0	0	0
Отрыв прибрежных льдов	1	0	+ 1	0	0	40	0
Опасные гидрологические явления	15	4	275,00 %	0	0	47224	0
Крупные природные пожары	2	7	-71,43 %	0	41	0	6154

факторов, влияние которых со временем все усиливается. Большая часть наших железных дорог построена и функционирует в сложных природно-климатических условиях (равнинные территории и низменности с преобладанием увлажнённых грунтов). Интенсификация перевозочного процесса и повышение осевых нагрузок приводили и приводят к необратимым физико-химическим процессам в земляном полотне, которые меняют характер поведения железнодорожного пути и расширяют зону риска.

ПОТРЕБНОСТЬ КОНТРОЛИРОВАТЬ РИСКИ

Рассмотрим сравнительную характеристику чрезвычайных ситуаций на территории Российской Федерации в 2015–2016 годах, используя данные официально опубликованных материалов МЧС (таблица 1).

Исходя из приведённых данных, вполне закономерным является определение приоритетного направления научно-технической деятельности МЧС России в 2017 году: «Научное обеспечение развития системы мониторинга

и прогнозирования масштабных чрезвычайных ситуаций и уменьшения опасности бедствий». Согласно официальной статистики (таблица 2) следует вывод, что на территории России преобладает водный фактор риска.

Анализ факторов природно-техногенного характера, приводящих к возникновению ЧС на железнодорожном транспорте, заставляет вместе с тем утверждать, что серьёзным фактором риска возникновения чрезвычайной ситуации является и сам железнодорожный путь — как отторгаемая антропогенная часть экосистемы [2]. И чем сложнее климатические условия, тем сильнее природа борется с «вирусом» и проявляет свой «иммунитет». Возникновение этого эффекта объясняется просто: при строительстве и эксплуатации пути возникает нарушение естественной среды [3], способное провоцировать и усугублять природные ЧС (рис. 1).

Согласно классификации [3], предложенной Ф. П. Саваренским (1941) и И. В. Поповым (1951), можно сгруппировать и связать ряд геологических про-





Рис. 1. Негативные экологические последствия строительства и эксплуатации железнодорожного пути.



Рис. 2. Основные природные факторы зарождения ЧС на железнодорожном транспорте.



Рис. 3. Информационная система аэрокосмического мониторинга.

цессов и физико-геологических явлений, дающих повод считать их основными причинами природно-техногенных ЧС на железнодорожном транспорте (рис. 2).

Очевидно, что территория пролегания железнодорожного пути подвержена негативному воздействию всего известного спектра физико-геологических явлений, провоцирующих возникновение чрезвычайных ситуаций. При этом следует отметить превалирующее значение водного фактора воздействия на железнодорожную инфраструктуру, в частности, участвовавшие на территории России наводнения, сопряжённые с серьёзными материальными потерями и человеческими жертвами.

Особую опасность среди быстроразвивающихся ЧС для железнодорожной инфраструктуры представляют сезонные и ливневые воды.

Для борьбы с возможными негативными последствиями привлекаются колоссальные материальные, технические и человеческие ресурсы. Рациональное планирование, распределение и эффективное использование имеющегося потенциала позволяет снизить ущерб, причиняемый железнодорожной инфраструктуре, минимизировать опасность для людей и повысить экономическую

эффективность проводимых мероприятий.

Следовательно, системы оперативного мониторинга должны обеспечивать региональные дирекции инфраструктуры и линейные предприятия необходимой информацией о состоянии железнодорожного пути и прилегающей территории, а также объектов, представляющих опасность вне зависимости от степени их удаления от полосы отвода.

СОВМЕЩЁННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

Система мониторинга на всех этапах должна обеспечивать информационную поддержку принимаемых решений и предоставлять данные об изменениях состояния объектов инфраструктуры и потенциально опасных объектов. В первую очередь о тех значениях, которые являются критическими для безопасности функционирования железнодорожного транспорта.

То есть речь идёт о том, чтобы система мониторинга оценивала отклонения от неких эталонных значений по ряду определённых критериев. При наличии аэрокосмического контроля в роли эталонных значений выступают снимки железнодорожного пути (рис. 3).

Причём при построении мониторинга на основе таких технологических инстру-



Ключевые технологические проблемы мониторинга железнодорожного пути	Основные причины недостаточной эффективности мониторинга потенциально опасных участков и реализации возможных мер по безопасности движения
Отсутствие в масштабах сети интеграции показаний путеизмерительных и диагностических средств в единой системе координат	<ul style="list-style-type: none"> • Невозможность выявления целого ряда геометрических параметров рельсовой колеи. • Высокая погрешность координатной привязки дефектов пути в пикетажной системе координат. • Невозможность ведения непрерывной «истории состояния (болезни)» каждого километра железнодорожного пути с непрерывной актуализацией информации в единой глобальной системе координат.
Отсутствие единой системы контроля соответствия проектным и паспортным данным железнодорожного пути (в том числе на больших протяжённых участках)	<ul style="list-style-type: none"> • Невозможность определения и контроля с необходимой точностью проектных параметров пути на больших протяжённых участках, в первую очередь высокоскоростных магистралей. • Невозможность отслеживания взаимного влияния при изменении состояния железнодорожного пути на другие объекты железнодорожного транспорта и искусственные сооружения (в первую очередь габаритные параметры).
Отсутствие технологий комплексного мониторинга железнодорожного пути для отслеживания опасных природно-техногенных явлений и ЧС	<ul style="list-style-type: none"> • Невозможность контроля событий на протяжённых территориях, прилегающих к железнодорожному пути (до десятков километров удаления) и оказывающих на него непосредственное влияние (оползни, лавины, шторма и т.д.). • Мониторинг потенциально опасных участков железнодорожного пути носит локальный характер, результаты не интегрируются в комплексную систему.

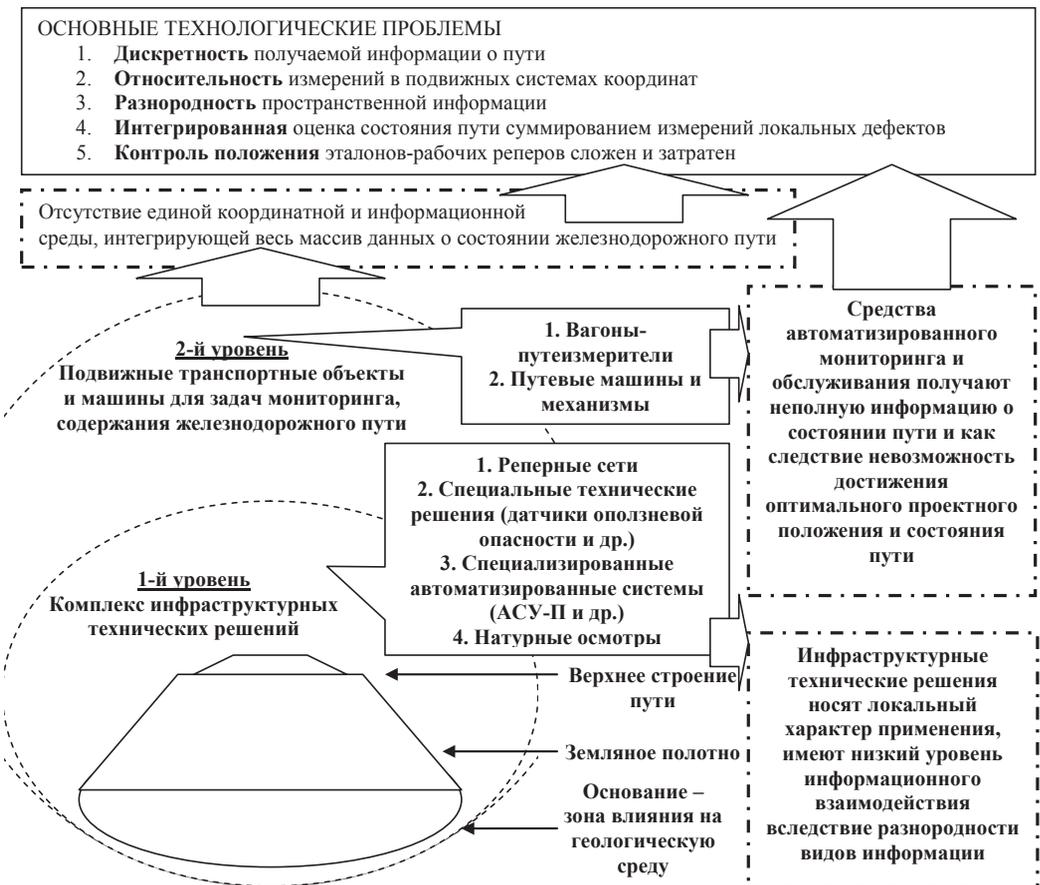


Рис. 4. Основные технологические проблемы мониторинга пути и предупреждения ЧС.

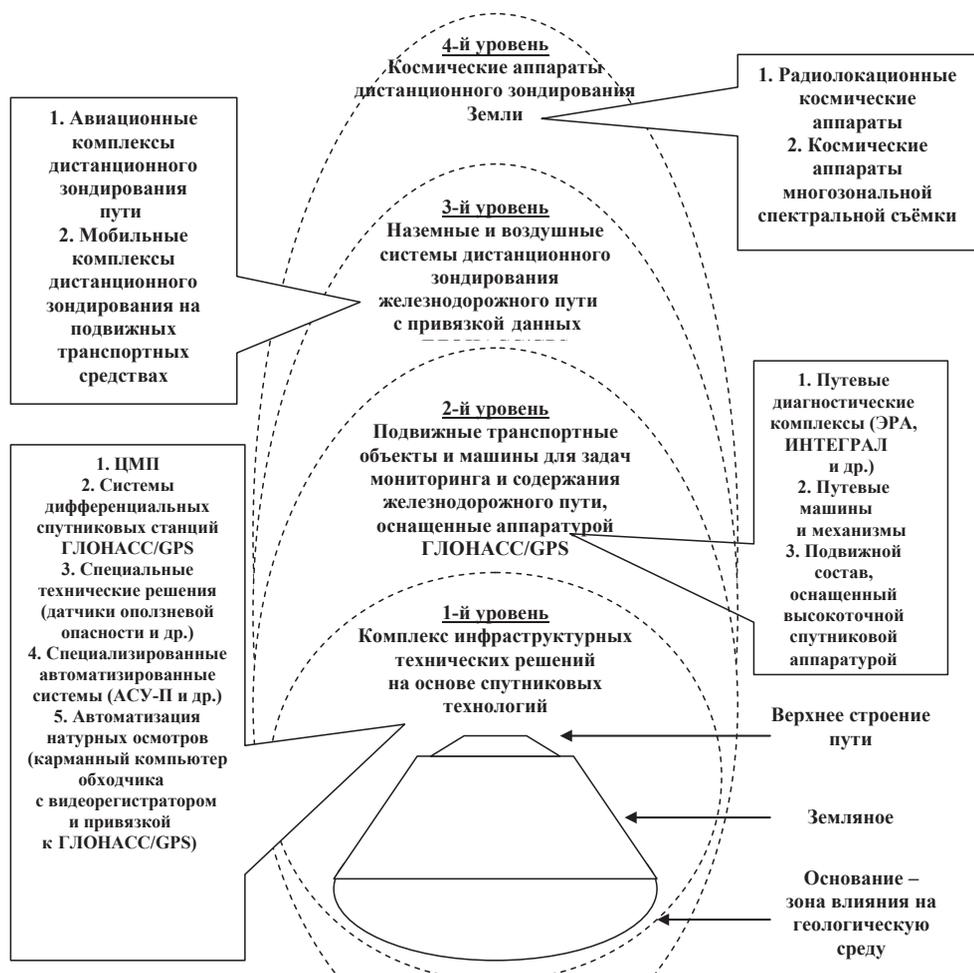


Рис. 5. Модернизированная система мониторинга пути и предупреждения ЧС.

ментов, как спутниковые системы дистанционного зондирования, возникает необходимость запуска законченного технологического цикла, с заданными параметрами измерений, цикличности и частоты получения информации, схемами коммуникационного взаимодействия.

Космические технологии зарекомендовали себя эффективным инструментом мониторинга, в первую очередь для крупных территориальных объектов и явлений, а также их комплексного взаимодействия с окружающей средой на больших пространствах. Исходя из этого, следует отметить, что космические системы не могут столь же эффективно решить всех задач мониторинга объектов инфраструктуры при оценке ситуации на локальном объекте. Их применение целесообразно

в рамках масштабного и комплексного мониторинга.

Представленная картина подтверждает тезис о необходимости создания глобальной системы предупреждения и предотвращения ЧС с помощью средств аэрокосмического мониторинга железнодорожного пути и прилегающих территорий для отслеживания факторов возникновения природно-техногенных чрезвычайных ситуаций [4, 5].

Такая постановка задачи требует единого научно-технологического подхода (задача интероперабельности) к вопросам мониторинга потенциально опасных участков железнодорожного пути [6–10] и прежде всего к ключевым технологическим проблемам: унификации методов измерений, формам предоставления информации, нормативным требованиям к полноте и точности данных (таблица 3).



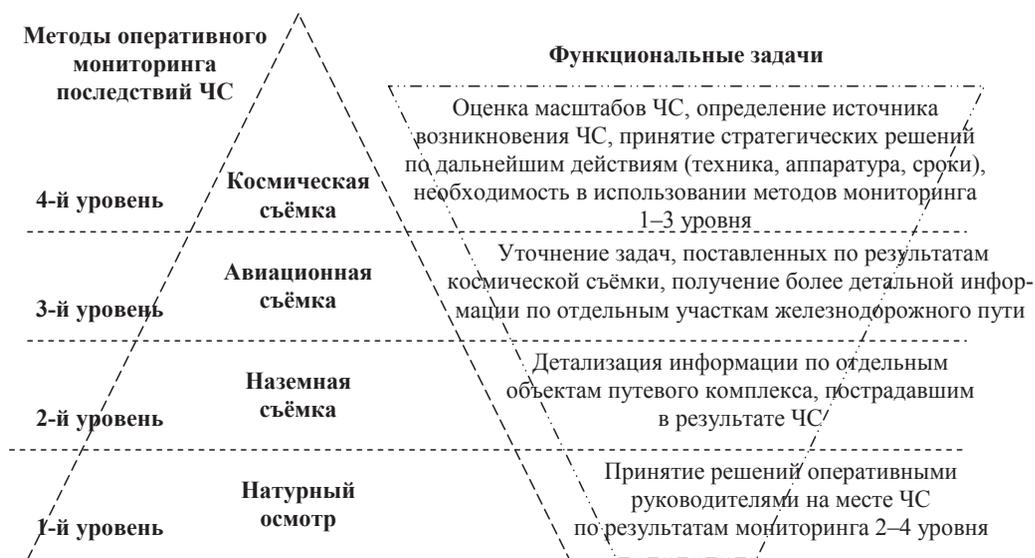


Рис. 6. Иерархическая структура решаемых задач и перспективной технологии мониторинга ЧС.

Существующая система информационно-технологического обеспечения мониторинга пути и предупреждения ЧС включает два уровня: комплекс локальных инфраструктурных технических решений (реперные сети, путевые шаблоны, геодезическая аппаратура и др.) и так называемые средства сплошного контроля (из которых вагон-путеизмеритель является наиболее ярким представителем и осуществляет периодические измере-

ния геометрических параметров рельсовой колеи) [11, 12]. При этом все упоминаемые средства дают дискретную и разнородную картину, не позволяющую в принципе выстраивать адекватную пространственную модель состояния железнодорожного пути (рис. 4).

Для решения представленных технологических проблем желательно применение средств глобального контроля — космических, авиационных и наземных дистанци-

онного зондирования с высокоточной привязкой аппаратурой ГЛОНАСС/GPS [12, 13]. Интегрируя результаты исследований, мы предложили модернизированную структурную схему системы мониторинга протяжённых деформаций железнодорожного пути, предусматривающую четыре основных уровня (рис. 5).

С опорой на основные методы оценки оперативной обстановки при ЧС построена иерархическая структура решаемых задач и перспективной технологии мониторинга ЧС (рис. 6).

Возникают и другие технологические возможности для оценки состояния пути и предупреждения ЧС в комплексе с объектами инфраструктуры [14, 15]:

1. Оценка пространственного положения и геометрических параметров железнодорожного пути в комплексе с искусственными сооружениями в макротерриториальном масштабе (смещение насыпей, приближение/удаление ИССО и т.д.).

2. Адаптивное управление мониторингом и текущим обслуживанием пути (управление частотой контроля при мониторинге, меньшее время для устранения дефектов за счёт прямой передачи средств контроля на путевые машины информации, управление скоростью работы путевых машин во время ремонтов и т.д.).

3. Выявление эпицентров потенциально опасных явлений на больших площадях, прилегающих к железнодорожному пути (образование водоёмов, скорость роста оврагов в сторону трассы, обводнение и заболачивание почв и т.д.).

ЛИТЕРАТУРА

1. Пономарёв В. М. Методы и средства повышения безопасности и устойчивости функционирования железнодорожного транспорта в чрезвычайных ситуациях / Дис...док. техн. наук. – М., 2011. – 416 с.

2. Пономарёв В. М. Повышение безопасности и устойчивости функционирования железнодорожного транспорта в чрезвычайных ситуациях: Монография. – М.: МИИТ, 2001. – 174 с.

3. Шульгин Д. И., Гладков В. Г., Никулин А. Н., Подвербный В. А. Инженерная геология для строителей железных дорог: Монография. – М.: Желдориздат, 2002. – 514 с.

4. Пономарёв В. М., Шевченко А. И. Совершенствование системы предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций на железнодорожном транспорте // Наука и техника транспорта. – 2005. – № 3. – С. 8–15.

5. Железнов М. М. Основные направления исследований в области мониторинга и технического обслуживания железнодорожного пути на основе спутниковых технологий // Вестник транспорта Поволжья. – 2011. – № 6. – С. 59–64.

6. Wang M. L., Lynch J. P., Sohn H. Sensor Technologies for Civil Infrastructures // Woodhead Publishing Series in Electronic and Optical Materials. 2014. Vol. 55. Pp. 159–178.

7. Shariff F., Rahim N. A., Hew W. P. Zigbee-based data acquisition system for online monitoring of grid-connected photovoltaic system // Expert System with Application. 2015. Vol. 42. № 3. Pp. 1730–1742.

8. Roghaei M., Zabihollah A. An efficient and reliable structural health monitoring system for buildings after earthquake // APCBEE Procedia, 2014, Vol. 9, Pp. 309–316.

9. Samadi A., Amiri-Tolkadany E., Davoudi M. H., Darby S. E. Experimental and numerical investigation of stability of overhanging riverbanks // Geomorfology. 2013. Vol. 184. Pp. 1–19.

10. Shen H., Klapperich H., Abbas S. M., Ibrahim A. Slope stability analysis based on the integration of GIS and numerical simulation // Automation in Construction. 2012. Vol. 26. Pp. 46–53.

11. Железнов М. М., Певзнер В. О., Василевский А. С. и др. Концепция мониторинга макротерриториальных деформаций железнодорожного пути с использованием космических технологий // Научное обеспечение инновационного развития и повышения эффективности деятельности железнодорожного транспорта: Коллективная монография / Под. ред. Б. М. Лапидуса. – М.: Mittel Press, 2014. – С. 97–111.

12. Zheleznov M. M. Aerospace remote sensing based determination of track geometry characteristics. Vniizht Bulletin. 2012. № 5. Pp. 1–7.

13. Василевский А. С., Железнов М. М., Макаров А. Ю. Мониторинг потенциально опасных воздействий на железнодорожную инфраструктуру с использованием космических систем ДЗЗ // Вестник ВНИИЖТ. – 2010. – № 6. – С. 16–19.

14. Железнов М. М. О концепции информационно-технологического совершенствования системы ведения путевого хозяйства на основе инновационных технологий, в том числе спутниковых // Бюллетень Объединённого учёного совета ОАО «РЖД». – 2012. – № 5. – С. 1–7.

15. Zheleznov M. M. Developing innovative technologies to be implemented with the track maintenance IT system. Vniizht Bulletin. 2013. № 1. Pp. 15–18. ●

Координаты авторов: **Железнов М. М.** – m.zheleznov@mail.ru,
Пономарёв В. М. – ponomarev.valentin@inbox.ru.

Статья поступила в редакцию 26.06.2017, принята к публикации 18.07.2017.

Работа выполнена в рамках гранта ОАО «РЖД» на развитие научно-педагогических школ в сфере железнодорожного транспорта.



AEROSPACE EMERGENCY MONITORING METHODS

Zheleznov, Maxim M., Russian University of Transport (MIIT), Moscow, Russia.

Ponomarev, Valentine M., Russian University of Transport (MIIT), Moscow, Russia.

ABSTRACT

The article provides a comparative analysis of natural and man-made factors that lead to the occurrence of emergency situations on railway

transport. The issues of information and technological support of monitoring and data collection about the state of potentially dangerous sections of the railway track using aerospace technologies are considered.

Keywords: aerospace monitoring, railway track, safety, emergency situations, control technologies.

Background. Ensuring stability of a transportation process and prevention of emergency situations (ES) is an urgent task for rail transport. Innovative technical solutions used for monitoring of long sections of the railway track make it possible to achieve the maximum integrated effect for train traffic safety and prevention of ES.

The urgency of monitoring of a railway track, potentially dangerous objects and phenomena on the adjacent territories is determined by the need to implement increased requirements for traffic safety and, in particular, to geometric parameters of long-distance track arrangements on the being constructed and functioning heavy main lines, as well as prevention of man-made disasters and large-scale negative consequences of natural phenomena [1].

The occurrence of natural and man-made emergencies on a railway transport is due to a number of factors, the influence of which is increasingly intensified with time. Most of the railways are built and operate in difficult climatic conditions (plains and lowlands with a predominance of moistened soils). The intensification of the transportation process and the increase in axle loads led and lead to irreversible physical and chemical processes in the roadbed, which change the nature of the behavior of the railway track and expand the risk zone.

Objective. The objective of the authors is to consider aerospace emergency monitoring methods.

Methods. The authors use general scientific and engineering methods, comparative analysis, scientific description.

Results.

Need to control risks

Let's consider the comparative characteristics of emergencies in the territory of the Russian Federation in 2015–2016, using the data of officially published materials of the Ministry of Emergency Situations of Russia (Table 1).

Based on the above data, it is quite natural to determine the priority direction of the scientific and technical activities of the Ministry of Emergencies of Russia in 2017: «Scientific support for development of a system for monitoring and forecasting of large-scale emergencies and disaster risk reduction». According to the statistics (Table 2), it follows that the water risk factor prevails on the territory of Russia.

Analysis of natural and man-made factors that lead to emergencies on railway transport, however, also suggests that the railway track itself is a serious risk factor for an emergency situation – as an anthropogenic part of the ecosystem that is torn away [2]. And the more complex the climatic conditions are, the stronger the nature struggles with the «virus» and manifests its «immunity». The appearance of this effect is explained simply: during construction and operation of the track there is a disturbance of the

Table 1

ES by nature and kind of sources of occurrence	Number of ES			Died		Injured	
	2016	2015	%	2016	2015	2016	2015
Technogenic	177	179	-1,12 %	708	656	3970	1629
Natural	54	45	20,00 %	3	43	126465	18114
Biological-social	67	33	103,03 %	75	0	503	1041
Total	298	257	15,95 %	786	699	130938	20784

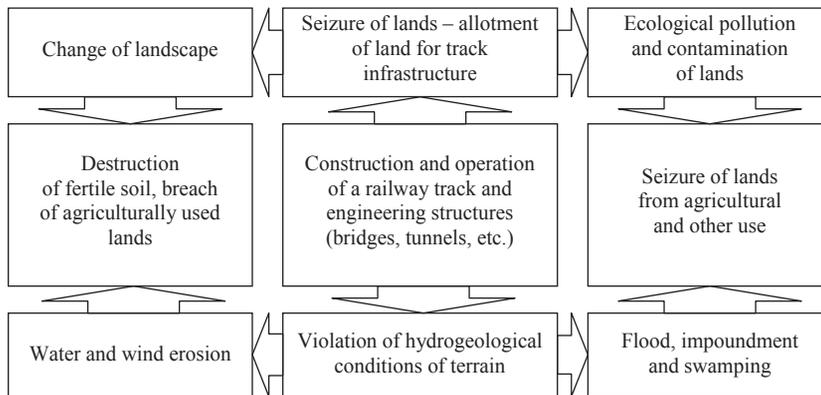
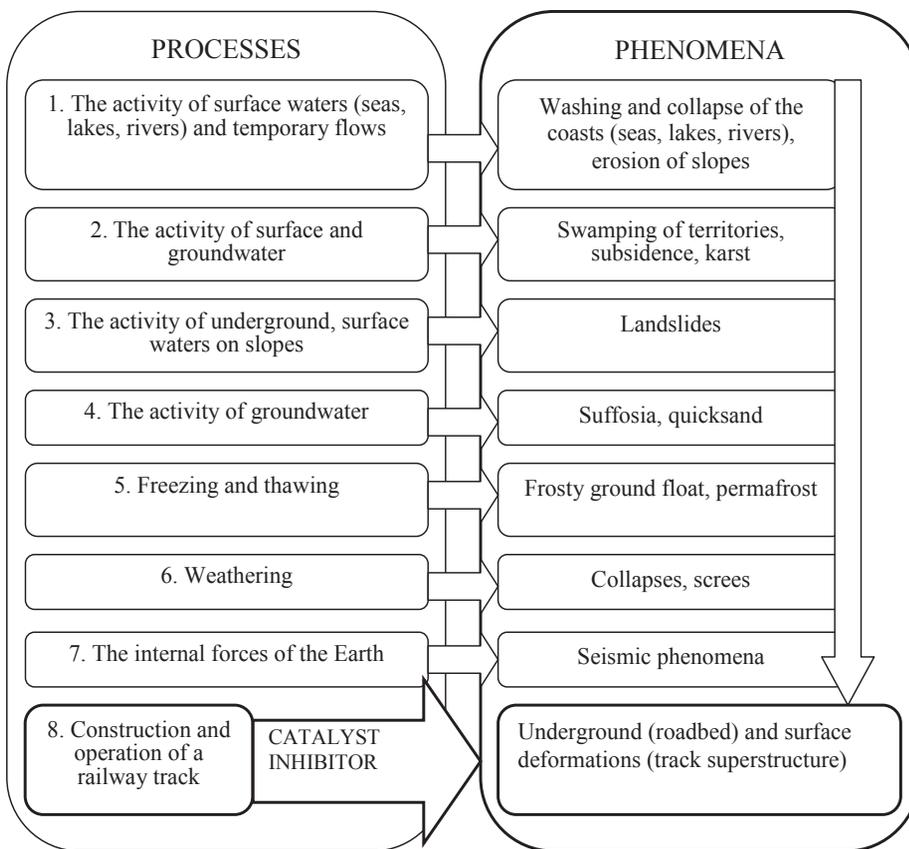


Fig. 1. Negative ecological consequences of construction and operation of a railway track.

Table 2

ES by nature and kind of sources of occurrence	Number of ES			Died		Injured	
	2016	2015	%	2016	2015	2016	2015
Earthquakes, volcanic eruption	0	0	0,00 %	0	0	0	0
Dangerous geological phenomena	2	0	+ 2	0	0	0	0
Increased groundwater	0	3	-100,00 %	0	0	0	1742
Storms, hurricanes, tornados, squalls, strong snowstorms	6	4	50,00 %	0	1	383	1229
Heavy rain, heavy snow, large hail	21	11	90,91 %	3	1	78818	8989
Snow avalanches	0	0	0,00 %	0	0	0	0
Frost, drought, dry winds, dust storms	7	16	-56,25 %	0	0	0	0
Marine hazardous hydrological phenomena	0	0	0,00 %	0	0	0	0
Separation of coastal ice	1	0	+ 1	0	0	40	0
Dangerous hydrological phenomena	15	4	275,00 %	0	0	47224	0
Major natural fires	2	7	-71,43 %	0	41	0	6154



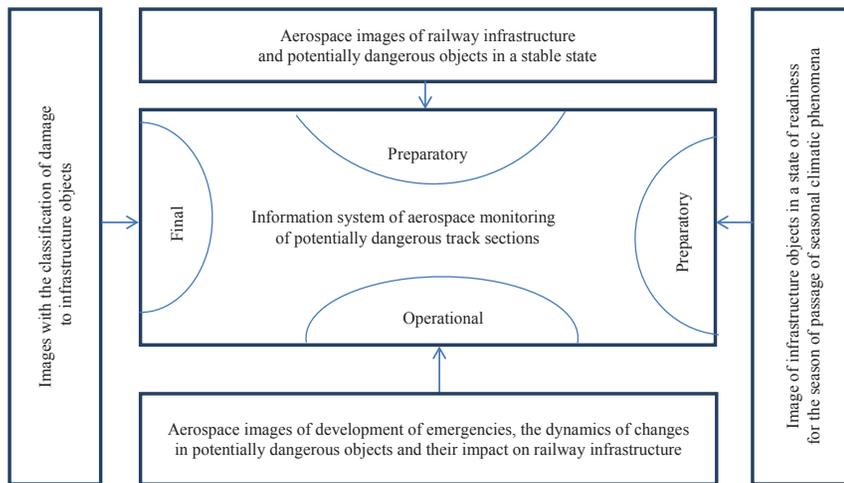
Pic. 2. The main natural factors of the emergence of ES on railway transport.

natural environment [3], which can provoke and aggravate natural emergencies (Pic. 1).

According to the classification [3] proposed by F. P. Savarensky (1941) and I. V. Popov (1951), it is possible to group and associate a number of geological processes and physico-geological phenomena, which give reason to consider them as main causes of natural and technogenic emergencies in railway transport (Pic. 2).

It is obvious that the territory of the railway track is subject to the negative impact of the entire known spectrum of physical and geological phenomena provoking the occurrence of emergency situations. At the same time, one should note the prevailing importance of a water impact factor on railway infrastructure, in particular, the floods that have become frequent in Russia, entailing serious material losses and human casualties.





Pic. 3. Information system of aerospace monitoring.

Table 3

Key technological problems of monitoring of a railway track	The main reasons for insufficient effectiveness of monitoring of potentially hazardous areas and implementing possible measures for traffic safety
Absence in the scales of the network of integration of readings of track-measuring and diagnostic tools in a single coordinate system	<ul style="list-style-type: none"> • Impossibility of revealing a number of geometric parameters of the track gauge. • High error in the coordinate binding of track defects in the coordinate system. • Impossibility of maintaining a continuous «history of the state (disease)» of each kilometer of the railway track with continuous updating of information in a single global coordinate system.
Absence of a single system for monitoring the compliance with the design and passport data of the railway track (including on large extended sections)	<ul style="list-style-type: none"> • Impossibility to determine and control with the required accuracy of the design parameters of the track on large extended sections, primarily high-speed lines. • Impossibility of monitoring of mutual influence when changing the state of the railway track on other railway transport facilities and artificial structures (primarily dimensions).
Absence of technologies for comprehensive monitoring of the railway track for monitoring dangerous natural and man-made disasters and emergencies.	<ul style="list-style-type: none"> • Impossibility of monitoring events on long areas adjacent to the railway track (up to tens of kilometers of remoteness) and exerting direct influence on it (landslides, avalanches, storms, etc.). • Monitoring of potentially dangerous sections of the railway track is of a local nature, the results are not integrated into the complex system.

Especially dangerous among the rapidly developing emergency situations for the railway infrastructure are seasonal and storm water.

To combat the possible negative consequences, enormous material, technical and human resources are attracted. Rational planning, distribution and effective use of the existing potential allows to reduce the damage caused to the railway infrastructure, minimize the danger to people and increase the economic efficiency of the activities carried out.

Therefore, operational monitoring systems should provide the regional infrastructure directorates and line enterprises with the necessary information about the state of the railway track and the adjacent territory, as well as objects that pose a danger, regardless of the degree of their remoteness from the right-of-way.

Combined technologies

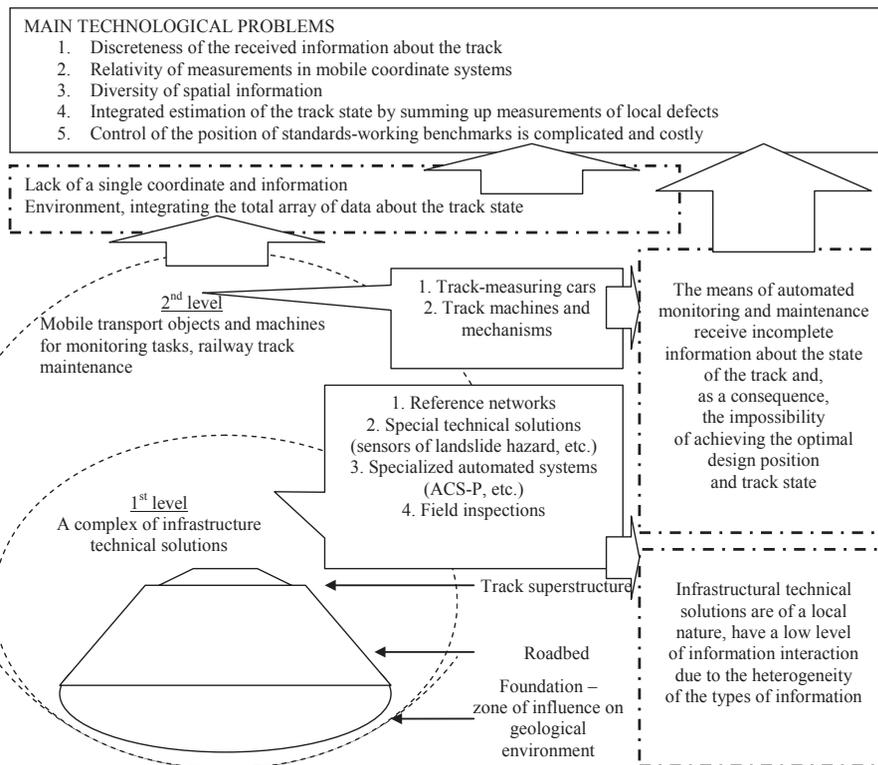
The monitoring system at all stages should provide information support for the decisions made and provide data on changes in the state of the infrastructure and potentially hazardous facilities. First

of all, those values that are critical for the safety of the functioning of the railway transport.

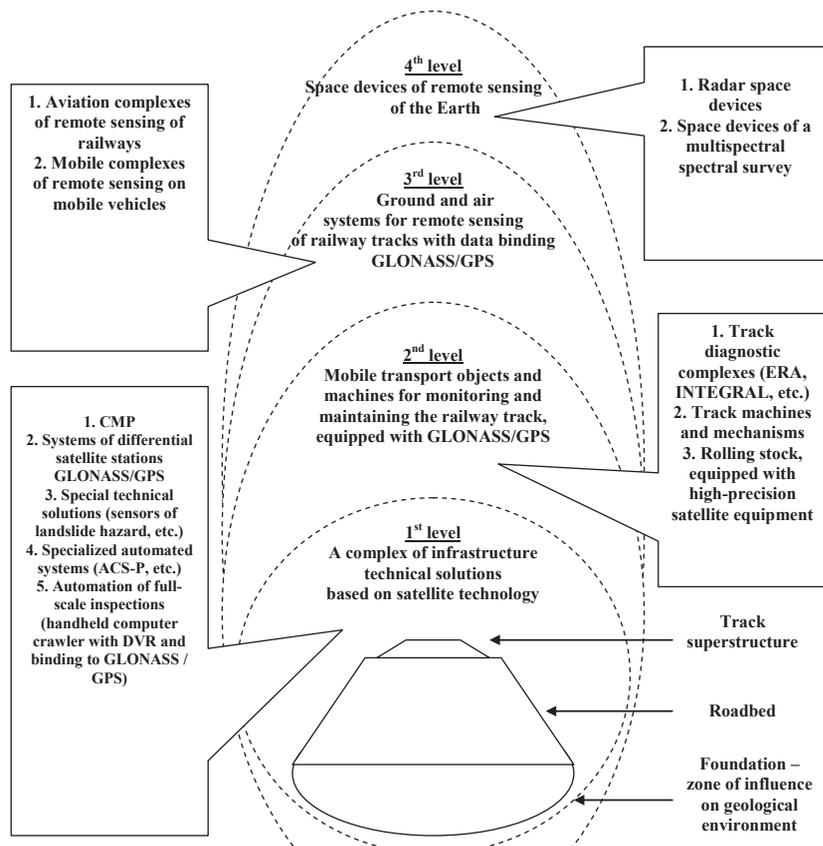
That is, it is about the monitoring system assessing deviations from certain reference values for a number of certain criteria. In the presence of aerospace control the reference values are the images of the railway track (Pic. 3).

Moreover, when building monitoring on the basis of such technological tools as satellite remote sensing systems, it becomes necessary to run a complete technological cycle, with the specified measurement parameters, cyclicity and frequency of information acquisition, communication interaction schemes.

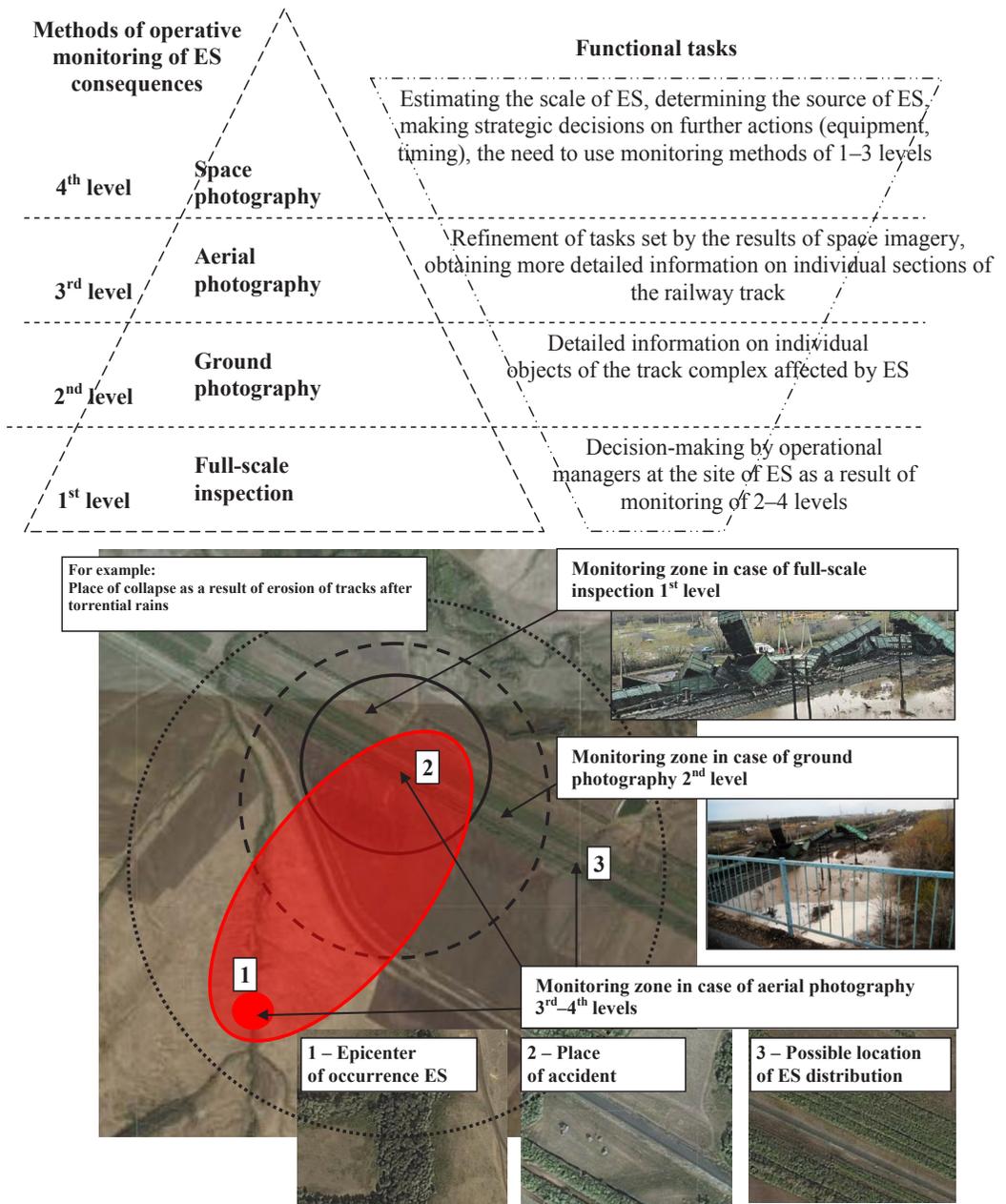
Space technologies have proven to be an effective monitoring tool, primarily for large territorial objects and phenomena, as well as their integrated interaction with the environment in large areas. Proceeding from this, it should be noted that space systems can not as effectively solve all tasks of monitoring infrastructure objects when assessing the situation at a local facility. Application of them is expedient nevertheless within the framework of large-scale and complex monitoring.



Pic. 4. The main technological problems of monitoring of the track and preventing emergencies.



Pic. 5. Upgraded track monitoring and emergencies preventing system.



Pic. 6. Hierarchical structure of the tasks to be solved and a promising technology for monitoring emergency situations have been constructed.

The presented picture confirms the thesis about the need to create a global system for preventing emergencies by means of aerospace monitoring of the railway track and adjacent territories to track the factors of the occurrence of natural and man-made emergencies [4, 5].

Such a statement of the problem requires a single scientific and technological approach (the task of interoperability) to the monitoring of potentially hazardous sections of the railway track [6–10] and, above all, to key technological problems: unification of measurement methods, forms of information provision, regulatory requirements for the completeness and accuracy of data Table 3).

The existing system of information and technological support of track monitoring and emergency prevention includes two levels: a set of local infrastructural technical solutions (reference networks, track templates, geodetic equipment, etc.) and so-called means of continuous control (of which the track-measuring car is the brightest representative and performs periodic measurements of the geometric parameters of the track gauge) [11, 12]. At the same time, all the mentioned means give a discrete and heterogeneous picture that does not allow in principle to build an adequate spatial model of the state of the railway track (Pic. 4).

To solve the presented technological problems it is desirable to use the means of global control –

space, aviation and ground remote sensing with high-precision binding by GLONASS / GPS equipment [12, 13]. Integrating the results of the research, we proposed a modernized structural diagram of the railway deformation monitoring system, which includes four main levels (Pic. 5).

Based on the basic methods of assessing the operational situation in the emergency, a hierarchical structure of the tasks to be solved and a promising technology for monitoring emergency situations have been constructed (Pic. 6).

Conclusions.

There are other technological opportunities for assessing the state of the track and preventing emergencies in conjunction with infrastructure objects [14, 15]:

1. Assessment of the spatial position and geometric parameters of the railway track in combination with artificial structures on a macroterritorial scale (displacement of embankments, approaching / removing the ISSS, etc.).

2. Adaptive management of monitoring and routine maintenance of the track (management of control frequency during monitoring, less time to eliminate defects due to direct transmission of information from control equipment to track machines, control of the speed of work of track machines during repairs, etc.).

3. Identification of epicenters of potentially dangerous phenomena in large areas adjacent to the railway track (formation of water bodies, speed of ravine growth towards the track, watering and swamping of soils, etc.).

REFERENCES

1. Ponomarev, V. M. Methods and means of improving safety and stability of the functioning of railway transport in emergency situations. D.Sc. (Eng) thesis [*Metody i sredstva povysheniya bezopasnosti i ustojchivosti funkcionirovaniya zheleznodorozhnogo transporta v chrezvychajnykh situacijah. Dis...dok. tehn. nauk*]. Moscow, 2011, 416 p.

2. Ponomarev, V. M. Increase of safety and stability of the functioning of railway transport in emergency situations: monograph [*Povyshenie bezopasnosti i ustojchivosti funkcionirovaniya zheleznodorozhnogo transporta v chrezvychajnykh situacijah: monografija*]. Moscow, MIIT publ., 2001, 174 p.

3. Shulgin, D. I., Gladkov, V. G., Nikulin, A. N., Podverbny, V. A. Engineering geology for railroad builders: Monograph [*Inzhenernaja geologija dlja stroitelej zheleznyh dorog: Monografija*]. Moscow, Zheldorizdat publ., 2002, 514 p.

4. Ponomarev, V. M., Shevchenko, A. I. Improvement of the system of prevention and liquidation of emergencies on railway transport [*Sovershenstvovanie sistemy preduprezhdenija i likvidacii chrezvychajnykh situacij na zheleznodorozhnom transporte*]. *Nauka i tehnika transporta*, 2005, Iss. 3, pp. 8–15.

5. Zheleznov, M. M. The main directions of research in the field of monitoring and maintenance of the railway track on the basis of satellite technologies [*Osnovnye napravlenija issledovanij v oblasti monitoringa i tehničeskogo obslužhivaniya zheleznodorozhnogo puti na osnove sputnikovyh tehnologij*]. *Vestnik transporta Povolzh'ja*, 2011, Iss. 6, pp. 59–64.

6. Wang, M. L., Lynch, J. P., Sohn, H. Sensor Technologies for Civil Infrastructures. *Woodhead Publishing Series in Electronic and Optical Materials*, 2014, Vol. 55, pp. 159–178.

7. Shariff, F., Rahim, N. A., Hew, W. P. Zigbee-based data acquisition system for online monitoring of grid-connected photovoltaic system. *Expert System with Application*, 2015, Vol. 42, Iss. 3, pp. 1730–1742.

8. Roghaei M., Zabihollah A. An efficient and reliable structural health monitoring system for buildings after earthquake. *APCBEE Procedia*, 2014, Vol. 9, pp. 309–316.

9. Samadi, A., Amiri-Tolkadany, E., Davoudi, M. H., Darby, S. E. Experimental and numerical investigation of stability of overhanging riverbanks. *Geomorfology*, 2013, Vol. 184, pp. 1–19.

10. Shen, H., Klapperich, H., Abbas, S. M., Ibrahim, A. Slope stability analysis based on the integration of GIS and numerical simulation. *Automation in Construction*, 2012, Vol. 26, pp. 46–53.

11. Zheleznov, M. M., Pevzner, V. O., Vasilevsky, A. S., et al. The concept of monitoring macroterritorial deformations of the railway using space technologies // Scientific support of innovative development and increasing the efficiency of railway transport activity: collective monograph [*Koncepcija monitoringa makroterritorial'nyh deformacij zheleznodorozhnogo puti s ispol'zovaniem kosmicheskikh tehnologij // Nauchnoe obespechenie innovacionnogo razvitiya i povysheniya effektivnosti dejatel'nosti zheleznodorozhnogo transporta: kollektivnaja monografija*]. Ed. by B. M. Lapidus. Moscow, Mittel Press publ., 2014, pp. 97–111.

12. Zheleznov, M. M. Aerospace remote sensing based determination of track geometry characteristics. *Vniizht Bulletin*, 2012, Iss. 5, pp. 1–7.

13. Vasilevsky, A. S., Zheleznov, M. M., Makarov, A. Yu. Monitoring of potentially dangerous impacts on the railway infrastructure using space RS systems [*Monitoring potencial'no opasnykh vozdeystvij na zheleznodorozhnuju infrastrukturu s ispol'zovaniem kosmicheskikh sistem DZZ*]. *Vestnik VNIIZhT*, 2010, Iss. 6, pp. 16–19.

14. Zheleznov, M. M. About the concept of information and technological improvement of the track maintenance system based on innovative technologies, including satellite ones [*O koncepcii informacionno-tehnologičeskogo sovershenstvovanija sistemy vedenija putevogo hozjajstva na osnove innovacionnyh tehnologij, v tom chisle sputnikovyh*]. *Bjulleten' Ob'edinennogo učenogo soveta OAO «RZhD»*, 2012, Iss. 5, pp. 1–7.

15. Zheleznov, M. M. Developing innovative technologies to be implemented with the track maintenance IT system. *Vniizht Bulletin*, 2013, Iss. 1, pp. 15–18. ●

Information about the authors:

Zheleznov, Maxim M. – Ph.D. (Eng), associate professor, deputy head of the department for scientific work of Russian University of Transport (MIIT), Moscow, Russia, m.zheleznov@mail.ru.

Ponomarev, Valentine M. – D.Sc. (Eng), professor, head of department of Safety control in technosphere of Russian University of Transport (MIIT), Moscow, Russia, ponomarev.valentin@inbox.ru.

Article received 26.06.2017, accepted 18.07.2017.

The work has been carried out within the framework of the grant of JSC Russian Railways for development of scientific and pedagogical schools in the field of railway transport.

