

## Применение радиолокационного зондирования подповерхностных исследований при оценке сходов грузовых вагонов

Л. В. Мартыненко✉, Ю. В. Воронова, В. А. Иванова

Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск, Российская Федерация

✉ liuba.martinenko@yandex.ru

### Резюме

В статье рассматриваются причины возникновения сходов подвижного состава. В настоящее время сходы составов расследуют по внешним отклонениям деталей и узлов, но не затрагивают внутреннюю сторону развития аварийных ситуаций. Особенно хотелось отметить отклонения, которые зависят от структуры земляного полотна и контролируются центром диагностики и мониторинга устройств инфраструктуры. Но не всегда выявляются причины, которые кроются в состоянии земляного полотна и принадлежности участка к горно-рельефной местности или прямому участку, где проходят грунтовые воды. От этого зависит структура земляного полотна и увлажненность слоев, влияющих на образование просадок пути, которые и могут привести к опасным ситуациям при движении подвижного состава. Для наблюдения за такими участками нужна определенная система, отслеживающая состояние пути не по внешним признакам, а именно по слоям земляного полотна. Такой является георадиолокационная система, позволяющая «просвечивать» горные породы с помощью радиоволн и детально определять отклонения и изменения в структуре земляного полотна, а также выявлять повышенную увлажненность слоев для своевременного предотвращения размыва грунта и его проседания под насыпью. Данная методика исследования является не только экономичной, но и достаточно удобной при обследовании больших площадей железнодорожного полотна.

### Ключевые слова

центр диагностики и мониторинга устройств инфраструктуры, структура земляного полотна, аварийные ситуации, горно-рельефная местность, зоны увлажнения, сход подвижного состава, георадиолокационная система

### Для цитирования

Мартыненко Л. В. Применение радиолокационного зондирования подповерхностных исследований при оценке сходов грузовых вагонов / Л. В. Мартыненко, Ю. В. Воронова, В. А. Иванова // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. – 2021. – № 4 (72). – С. 96–103. – DOI: 10.26731/1813-9108.2021.4(72).96-103

### Информация о статье

поступила в редакцию: 01.12.2021, поступила после рецензирования: 08.12.2021, принята к публикации: 10.12.2021

## Application of radar sounding of subsurface studies in the assessment of freight car descents

L. V. Martynenko✉, Yu. V. Voronova, V. A. Ivanova

Irkutsk State Transport University, Irkutsk, the Russian Federation

✉ liuba.martinenko@yandex.ru

### Abstract

The article discusses the causes of rolling stock derailments. At present, train derailments are investigated for external deviations of parts and assemblies, without considering the internal side of the development of emergency situations. The deviations that depend on the structure of the roadbed and are controlled by the center for diagnostics and monitoring of infrastructure devices should be noted. But the reasons are not always revealed which lie in the condition of the roadbed and the belonging of the site to the mountainous terrain or the direct section where the groundwater passes. It is the structure of the roadbed and the moisture content of the layers that affect the formation of subsidence of the track, which may result in dangerous situations when moving rolling stock. To monitor such areas, a certain system is needed that tracks the state of the path not by external signs, but by layers of the roadbed. That is what a geo-radiolocation system is that allows to “shine through” rocks with the help of radio waves and to determine in detail the deviations and changes in the structure of the roadbed, as well as to identify increased moisture content of layers for timely prevention of soil erosion and subsidence under the embankment. This research technique is not only economical, but also quite convenient when examining large areas of the railway track.

### Keywords

the center for diagnostics and monitoring of infrastructure devices, the structure of the roadbed, emergency situations, mountainous terrain, humidification zones, rolling stock derailment, geo-radar system

**For citation**

Martynenko L. V., Voronova Yu. V., Ivanova V. A. Primenenie radiolokatsionnogo zondirovaniya podpoverkhnostnykh issledovaniy pri otsenke skhodov gruzovykh vagonov [Application of radar sounding of subsurface studies in the assessment of freight car descents]. *Sovremennye tekhnologii. Sistemy analiz. Modelirovaniye* [Modern Technologies. System Analysis. Modeling], 2021, No. 4 (72), pp. 96–103. – DOI: 10.26731/1813-9108.2021.4(72).96-103

**Article Info**

Received: 01.12.2021, Revised: 08.12.2021, Accepted: 10.12.2021

**Введение**

В настоящее время используются различные приборы и оборудование по обнаружению и устранению отклонений, которые возникают в процессе движения подвижного состава. Большинство отклонений широко известны и изучены, однако не всегда можно достоверно указать причину их возникновения, так как некоторые отклонения могут находиться не на поверхности пути или в узлах и деталях состава, а внутри земляного полотна. Данные отклонения приводят к его проседанию, соответственно, образованию на поверхности просадки, т. е. проседание грунта за счет его деформации и изменения или смещения слоев грунта.

В результате изменения структуры земляного полотна понижается общая сопротивляемость внешнему воздействию, особенно это касается железнодорожного полотна, которое постоянно испытывает высокие вибрационные нагрузки от проходящих составов. Существуют и другие факторы, которые влияют на изменение слоев грунта, возникающие при пластической деформации глинистых грунтов, деформации насыпи и т. д.

**Методика определения структурного изменения земляного полотна**

С ростом грузооборота увеличилась нагрузка на путь, которая повлияла на сопротивляемость земляного полотна внешним воздействиям со стороны эксплуатируемого подвижного состава [1]. Состояние земляного полотна определяется наличием большого количества отклонений, влияющих на динамику вагона при движении, а в некоторых случаях приводящих к возникновению больших динамических возмущений и сходу подвижного состава. Отклонения на железнодорожном полотне определяются изменением структуры балластного слоя или сдвигом грунтов, что ведет к образованию дефектов поверхности пути. При проседании земляного полотна возникает самое распространенное отклонение – просадка, от ее

степени зависит динамика вагона при прохождении данного участка. Если глубина отклонения не будет соответствовать установленному скоростному режиму подвижного состава, то может произойти сход, который повлечет за собой большой материальный ущерб [2]. Структурное изменение грунтов приводит к проседанию земляного полотна, которое можно своевременно обнаружить и устранить. Для решения данной проблемы применяется зондирование земляного полотна. Центр диагностики и мониторинга устройств инфраструктуры контролируют изменения, происходящие в слоях грунта, или их смещение с помощью специализированного оборудования, которое магнитными импульсами считывает информацию, что позволяет своевременно предотвратить отклонения, возникающие на поверхности железнодорожного полотна и влияющие на состав при движении на данном участке [3].

**Применение георадиолокационной системы**

На Восточно-Сибирской железной дороге для более качественного исследования используются диагностический комплекс «Интеграл», оснащенный специализированным оборудованием: дефектоскопом, системами измерения, сканирования земляного полотна на достаточно большую глубину, георадиолокацией, а также системой контроля технического состояния параметров контактной сети, автоматики и радиосвязи [4]. Данные, полученные с этих систем, классифицируются по количественным и качественным характеристикам, после чего заносятся в систему диагностики и мониторинга инфраструктуры (СДМИ), которая является частью Единой корпоративной автоматизированной системы управления инфраструктурой (ЕК АСУИ).

Принцип работы многоканальной георадарной системы (МГС) основан на применении магнитного излучения, которое обнаруживает и регистрирует сигналы на определенной глубине и предоставляет достоверную информа-

цию о состоянии слоев земляного полотна. Такими данными являются определение взаимодействия сухого и влажного грунта [5].

На рис. 1 показано подвагонное оборудование, состоящее из трех антенных блоков, которые позволяют обнаружить опасные отклонения в железнодорожном полотне. Данное оборудование выявляет изменения на начальном этапе, в связи с чем принимаются необходимые меры для нормализации слоев земляного полотна [6].



**Рис. 1.** Крепление антенных блоков под кузовом вагона

**Fig. 1.** Mounting of antenna blocks under the car body

В табл. 1 представлены наименования параметров МГС при скоростях до 120 км/ч. МГС позволяет:

- определять изменения и отклонения в структуре слоев земляного полотна, а также проверять наличие посторонних примесей и увеличенную увлажненность слоев;

- выявлять дополнительные несоответствия, связанные со смешиванием балластного слоя с другими материалами, которые не должны входить в состав;

- выявлять отклонения в верхних слоях полотна, а также изменения цветовой гаммы в слоях полотна, которая зависит от содержащихся в ней в определенном процентном соотношении горных пород;

- выделять пониженную плотность слоев, зависящую от структуры материалов и изменяющуюся при взаимодействии с водой или другими материалами;

- определять места, в которых присутствуют высокопористые материалы, влияющие на изменение структуры полотна и ограничи-

вающие взаимодействие слоев между собой и с верхними слоями [7].

**Таблица 1.** Параметры георадиолокационной системы  
**Table 1.** Parameters of the georadolocation system

Наименование параметров	Нормативное Значение параметров
Производительность на один канал, трасс/с	320
Глубина зондирования, м	0,8–8
Разрешающая способность, м	0,03–0,25
Работа с отрывом, м	0,25–0,45
Скорость передачи данных, Мбит/с	10/100

В настоящее время на ОАО РЖД применяются два основных вида железнодорожного пути: с балластным слоем и без него. Безбалластный тип не предназначен для земляного полотна железнодорожного пути, потому что применяется только для устойчивых сооружений, где проходят не только поезда, но и автомобили разных типов, в том числе и большегрузы. Любое проседание может привести к деформации постройки, к зарождению трещин и нарушению целостности конструкции, что может привести к излому и разрушению, например, моста. Это может повлечь гибель людей и огромные экономические потери, а также затруднить передвижение всех видов транспорта. Для подвижного состава используется только грунтовое земляное полотно (более 99 %), так как должны учитываться многочисленные факторы, влияющие на динамику движения всего состава. Динамическая нагрузка различна на разных участках пути, здесь играет большую роль кривизна пути, скорость, возвышение рельса и техническое состояние вагона и пути. Безбалластного типа не может быть, так как отсутствие равномерного распределения нагрузки может привести к аварийным ситуациям и большим экономическим потерям.

Балластный слой имеет особенную конструкцию, которая также препятствует боковым и продольным смещениям шпал. Нагрузка на рельсошпальную решетку должна равномерно распределяться по полотну, необходимо обеспечивать ее стабильное положение, т. е. упругость самого основания.

Основным материалом является щебень, он выдерживает нагрузку 1 000 кг на 1 куб. м. Укладка производится именно на этот материал, так как он может быть крупным для устойчивости рельсошпальной решетки либо мелким для ровной поверхности под шпалами. Одним из малоиспользуемых балластов является песчаный материал, в основном на мало эксплуатируемых участках пути (грузонапряженность до 25 млн т-км в год), так как не надежен для содержания пути. Также есть балласт, который мешает проникновению разных мелких частиц и применяется на загрязненных участках, он состоит из волокнистого материала.

При укладке разных балластных материалов применяется определенная структурированность, которая позволяет правильно распределить разные слои земляного полотна, чтобы нагрузка распределялась в соответствии с нормами (рис. 2).

Каждый слой в балласте должен быть определенной толщины: 25–55 см в зависимости от материала. Толщина песчаной подушки под щебнем, которая выравнивает поверхность и

компенсирует нагрузки, должна быть не менее 20–25 см в зависимости от класса линий. При скальных, крупноблочных и песчаных грунтах земляного полотна подушка не делается [8].

Принцип действия радиолокационной системы основан на сверхмощном магнитном излучении и зондировании структурных слоев земляного полотна. Данная аппаратура работает на малых и больших глубинах в зависимости от технических параметров системы. Радиолокационное зондирование (георадар) основано на применении магнитных импульсов, которые, в свою очередь, должны находить и определять слабые места в земляном полотне, выявлять нарушение структурированности слоев. Излучение при зондировании слоев может быть метрового и дециметрового диапазона, оно лучше всего отображает те границы и разделы слоев, где имеются различные электрофизические показатели, связанные с особенностью структуры полотна, и его несоответствия (табл. 2).

Георадиолокационное обследование является наиболее распространенным и удобным в использовании, специалист на определенном

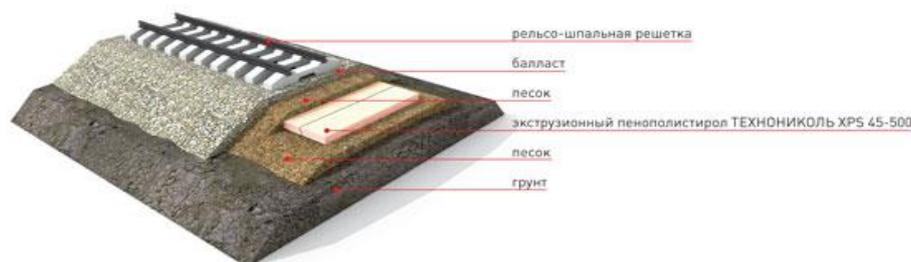


Рис. 2. Конструкция земляного полотна железной дороги  
Fig. 2. Construction of the railway roadbed

Таблица 2. Электрофизические параметры сред  
Table 2. Electrophysical parameters media

Среда	Относительная диэлектрическая проницаемость	Удельное затухание, дБ/м	Скорость распространения волн, м/нс
Воздух	1	0	0,300
Песок влажный	20–30	0,5–5	0,055–0,067
Песок сухой	4–6	0,01–1,5	0,122–0,150
Суглинок влажный	10–20	–	0,067–0,095
Суглинок сухой	4–6	–	0,122–0,150
Глина влажная	19–27	25–110	0,058–0,069
Глина сухая	2–7	3–14	0,113–0,212
Торф	50–78	–	0,034–0,042
Ил	13–27	–	0,058–0,083
Гранит	9	–	0,100
Бетон сухой	3–7	1–7	0,090–0,113
Асфальт сухой	3–6	2–15	0,122–0,173
Пресный лед	4	0,1–3,5	0,150
Пресная вода	81	0,10	0,033

участке может спокойно проверить состояние полотна при помощи специализированного оборудования, которое передает и принимает информацию антенной приемника. Излучатель, находящийся вблизи антенны, принимает сигнал и фиксирует месторасположение изменений на глубине, передает всю информацию на компьютер, где она затем обрабатывается.

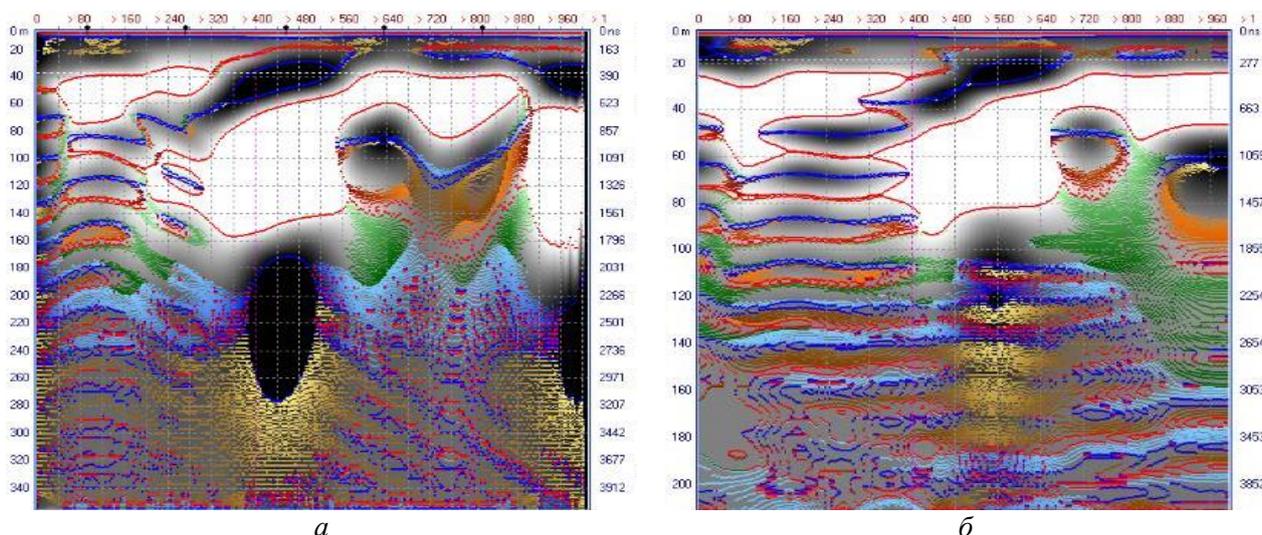
Результатом подповерхностного зондирования является выявление отклонений в структуре земляного полотна и несоответствие техническим параметрам, например, по высоте, увлажненности слоев и т. д., которые могут повлиять на распределение нагрузок между слоями и привести к изменению динамики движения подвижного состава, возникновению больших ударных нагрузок и даже потере устойчивости подвижного состава. На рис. 3 приведены радарограммы с частотой зондирования 10 МГц и шагом 1 и 50 м, цветом выделены участки, соответствующие распознаванию при данной частоте.

Необходимость расшифровки данных радарограмм объясняется несколькими причинами. Во-первых, для того чтобы решить возникшую проблему, нужно выполнить несколько замеров на разной глубине и на разных участках. Во-вторых, необходимо, чтобы используемое оборудование работало исправно на любой глубине и не зависело от климатических особенностей и различного рода помех, которые могут прерывать сигнал.

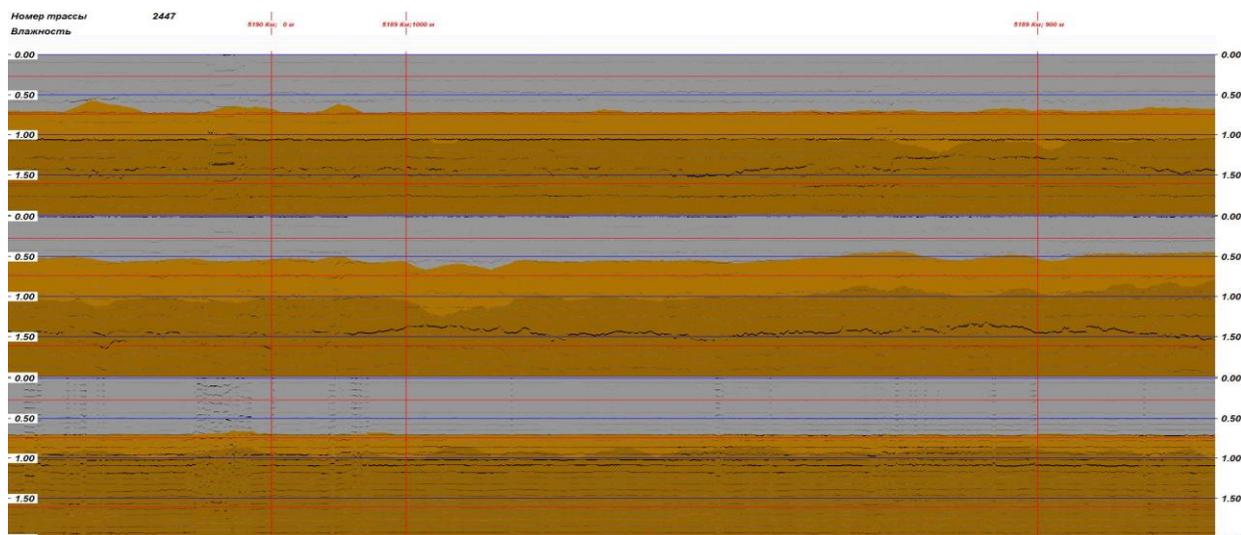
Заключительным этапом обработки радарограмм является решение поставленной задачи и определение достоверности снятых замеров в используемой методике. Решение проводится в два этапа. На первом анализируются основные особенности частоты и длины волны, на втором этапе – ограничения, связанные с определенным местом. Обработка радарограмм осуществляется в специальных программных комплексах: GeoScan32, Георадар-эксперт, Крот, Easy3D и Prism. В научных целях используются также система моделирования георадарных данных GprMax, основанная на методе конечных разностей, и свободно распространяемый по лицензии GNU продукт MatGPR, написанный на базе Matlab.

Результаты проездов (ведомости выходных форм) загружаются в программное обеспечение ЕК АСУИ СДМИ, далее работники Центра диагностики и мониторинга устройств инфраструктуры производят обработку и анализ полученных данных, впоследствии отправляют письма в адреса дистанций пути с актуализированными результатами для использования при планировании текущего содержания пути и работ капитального характера [9]. Анализ радарограммы позволяет принять решения, связанные с устранением опасных отклонений в структуре земляного полотна.

На рис. 4 приведена радарограмма горно-перевального участка Восточно-Сибирской железной дороги, которая показывает увлаж-



**Рис. 3.** Радарограмма с частотой зондирования 10 МГц:  
*а* – шаг зондирования 1 м; *б* – шаг зондирования 50 м  
**Fig. 3.** Radarogram with a sounding frequency of 10 MHz:  
*a* – a sounding step of 1 m; *b* – a sounding step of 50 m



**Рис. 4.** Радарограмма (профиль зондируемого земляного полотна) по увлажнению слоев земляного полотна

**Fig. 4.** Radarogram (profile of the probed roadbed) for moistening the layers of the roadbed)

ненность слоев земляного полотна на одном километре пути [10]. В пределах данного участка можно определить отклонение по влажности подбалластных слоев и деформацию слоев грунта [11].

Анализ данных (табл. 3) позволяет оценить изменение влажности на разных участках пути. Земляное полотно постоянно подвергается воздействию воды, что приводит к повышенной влажности слоев грунта [12, 13]. Это нарушает прочностные характеристики слоев и способствует проседанию грунта, также нарушается устойчивость откосов и земляного по-

лотна [14, 15]. Повышенная влажность – это не только климатические осадки, но и расположение над уровнем моря, прохождение грунтовых вод [16, 17].

Из приведенных данных видно, что на исследуемых участках пути наблюдалось повышение влажности верхней части разреза подбалластного основания, которая составляет около 67 %. При дополнительном анализе гидрологических данных это может послужить мерой оценки качества работы водоотводных сооружений (канав, дренажа и пр.) [18].

**Таблица 3.** Ведомость участка пути с деформациями земляного полотна

**Table 3.** List of sections of the track with defects of the roadbed

№	Участки с деформациями земляного полотна, м	
	Нарушения по данным геодезии	Размер
1	11,7 (увлажнение)	11,7
2	13,8 (балластное корыто)	13,8
3	31,8 (балластное углубление)	31,8
4	17,5 (увлажнение)	17,5
5	70,4 (балластное углубление)	70,4
6	16,0 (увлажнение)	16,0
7	22,0 (увлажнение)	22,0
8	58,5 (понижение основной площадки)	58,5
9	14,3 (увлажнение)	14,3
10	21,4 (увлажнение)	21,4
11	32,9 (балластное углубление)	32,9
12	13,2 (увлажнение)	13,2
13	15,9 (увлажнение)	15,9
14	23,5 (увлажнение)	23,5
15	22,4 (увлажнение)	22,4

**Заключение**

В данной статье рассмотрена многофункциональная радиолокационная система, с помощью которой были проведены исследования слоев земляного полотна на соответствие нормам увлажненности и структуре грунтов земляного полотна. Данная система показала, что при разной частоте можно выявить отклонения на глубине от 10 до 50 м. Это является оптимальным решением для контроля и сохранности железнодорожного полотна и своевременного выявления и устранения просадок пути и несоответствий в структуре слоев. При использовании георадиолокационной системы были получены данные, в которых выявлены нарушения в нижних слоях железнодорожного пути,

где повышена влажность. На таких участках сходы происходят чаще. Данная методика исследования подповерхностных слоев земляного полотна является определенно высокоточной по сравнению с другими геофизическими методами и может обеспечить получение непрерывной и достоверной информации о состоянии объектов земляного полотна. Использование этой методики поможет существенно повысить качество проектных решений при проектировании и снизить затраты на текущее содержание и ремонт железнодорожного полотна, а также уменьшить количество сходов, связанных с нарушением рельефа полотна.

**Список литературы**

1. Пузырев Н.Н. Временные поля отраженных волн и метод эффективных параметров. Новосибирск : Наука, 1979.
2. Владов М.Л., Старовойтов А.В. Введение в георадиолокацию / М. : Изд-во МГУ, 1998.
3. Особенности обработки георадиолокационных данных, получаемых в непрерывном скоростном режиме / В.И. Колесников, В.А. Явна, В.Б. Воробьев и др. // Современные проблемы путевого комплекса. Повышение качества подготовки специалистов и уровня научных исследований. М. : МИИТ, 2004.
4. Старовойтов А.В. Интерпретация георадиолокационных данных : учеб. пособие. М., 2008. 192 с.
5. Воробьев В.Б. Диагностика балластного слоя георадиолокационным методом // Путь и путевое хозяйство. 2011. № 8. С. 2–8.
6. Марков А.А. Кузнецова Е.А. Дефектоскопия рельсов. Формирование и анализ сигналов : практ. пособие. В 2 кн. Кн. 1. Основы. СПб. : Культ Информ Пресс, 2010. 292 с.
7. Шнейерсон М.Б., Жуков А.П., Белоусов А.В. Технология и методика пространственной сейсморазведки. М. : Спектр, 2009. 112 с.
8. Диагностический комплекс «Интеграл» // ТВЕМА : сайт. URL: <http://www.tvema.ru/398> (дата обращения 18.11.2021). (исправила название, авторское на сайте по указанной ссылке не нашла)
9. Положение о порядке расшифровки результатов контроля съемных и мобильных средств дефектоскопии : распоряжение ЦДИ ОАО «РЖД» : утв. распоряжением ОАО «РЖД» от 03.07.2012 №12112. Доступ из справ.-прав. системы «Гарант» в локал. сети.
10. Сейсморазведка с вибрационными источниками / А.П. Жуков, С.В. Колесов, Г.А. Шехтман и др. Тверь : Герс, 2011. 412 с.
11. Хакиев З.Б. Определение свойств грунта георадиолокационным методом // Радиолокация и радиосвязь. М., 2009. Т. 1. С. 177–181.
12. СП 32-104-98 Проектирование земляного полотна железных дорог колеи 1 520 мм. Введ. 1999–01–01. М. : Изд-во стандартов. 1999. 90 с.
13. Модин И.Н., Большаков Д.К., Ерохин С.А. Построение объемных моделей геологической среды по данным электроразведки // Инженерная и рудная геофизика : тезисы докл. Геленджик : EAGE, 2010.
14. Порядок действий при неразрушающем контроле рельсов и оценке технического состояния рельсового хозяйства : утв. распоряжение ОАО «РЖД» от 08.12.2010 г. N 2537р // Доступ из справ.-прав. системы «Гарант» в локал. сети.
15. НТД/ЦП 1-2-3-2007. Классификация дефектов рельсов. Каталог дефектов рельсов. Признаки дефектных и остродефектных рельсов / ОАО «РЖД», Департамент пути и сооружений. М., 2007.
16. Технологический регламент диагностики и режимных наблюдений объектов земляного полотна для постоянной эксплуатации / ОАО «РЖД. МИИТ. М. : НИИТКД, 2007. 92 с.
17. Сейсморазведка : справочник геофизика / под ред. И.И. Гурвича, В.П. Номоконова. М. : Недра, 1981. 464 с.
18. Инструкция по текущему содержанию железнодорожного пути : утв. распоряжением ОАО «РЖД» № 2791р от 29 декабря 2012 г. // Доступ из справ.-прав. системы «Гарант» в локал. сети.

**References**

1. Puzyrev N.N. Vremenniye polya otrazhennikh voln I metod ehffektivnikh parametrov [Time fields of reflected waves and the method of effective parameters]. Novosibirsk: Nauka Publ., 1979.
2. Vladov M.L., Starovoitov A.V. Vvedeniye v geo-radiolocatsiyu [Introduction to geo-radiolocation]. M.: Publishing House of Moscow State University, 1998.
3. Kolesnikov V.I., Yavna V.A., Vorobyev V.B. et al. Osobennosti obrabotki georadiolokatsionnykh dannyyk poluchaemykh v nepreryvnom slorostnom rezhime.[Features of processing geo-radar data obtained in continuous high-speed mode]. *Sovremen-*

*niye problemy putevogo kompleksa. Povyshenie kachestva podgotovki spetsialistov I urovnya nauchnykh issledovaniy* [Modern problems of the track complex. Improving the quality of training of specialists and the level of scientific research]. M.: MIIT Publ., 2004.

4. Starovoitov A.V. Interpretatsiya georadiolokatsionnykh dannykh [Interpretation of geo-radar data : textbook. manual] M., 2008. 192 p.
5. Vorobyev V.B. Diagnostika ballastnogo sloya georadiolokatsionnym metodom. [Diagnostics of the ballast layer by the georadiolocation method]. *Path and track economy*. 2011. No. 8. pp. 2–8.
6. Markov A.A., Kuznetsova E.A. Defektoskopiya relsov. Formirovaniye i analiz signalov [Rail Testing. Formation and analysis of signals : practice. stipend]. In 2 books. Book 1. Fundamentals. St. Petersburg : Cult Inform Press, 2010. 292 p.
7. Schneerson M.B., Zhukov A.P., Belousov A.V. Tekhnologiya I metodika prostranstvennoy seysmorazvedki [Technology and methodology of spatial seismic exploration]. M.: Spectrum, 2009. 112 p.
8. Diagnostic complex of automated assessment of the condition of technical infrastructure facilities related to ensuring the safety of train traffic «Integral». URL: <http://www.tvema.ru>.
9. Regulation on the procedure for decoding the results of the control of removable and mobile means of de-fectoscopy : order of the Central Department of JSC "Russian Railways" // SPS «Garant»
10. Zhukov A.P., Kolesov S.V., Shekhtman G.A., Schneerson M.B. Seysmorazvedka s vibratsionnymi istochnikami [Seismic exploration with vibration sources]. Tver: Gers, 2011. 412 p.
11. Khakiev Z.B. Opredelenie svoystv grunta georadiolokatsionnym metodom [Determination of soil properties by georadiolocation method]. *Radar and radio communication*. Moscow, 2009. Vol. 1. pp. 177–181.
12. Proektirovanie zemlyanogo polotna zheleznykh dorog kolei 1 520 mm. Vved. [Design of the roadbed of railways with a gauge of 1 520 mm. Introduction]. 1999-01-01. Moscow: Standards, 1999. 90 p.
13. Modin I.N., Bolshakov D., Erokhin S.A. Postroenie ob'emnykh modeley geologicheskoy sredy po dannym elektrorazvedki. [Construction of three-dimensional models of the geological environment according to electrical]. *Inzhenernaya I rudnaya geofizika* [Engineering and mining Geophysics]. Gelendzhik: EAGE, 2010.
14. Procedure for non-destructive testing of rails and assessment of the technical condition of rail facilities: order of JSC "Russian Railways" // SPS «Garant».
15. NTD/CP 1-2-3-2007. Classification of rail defects. Catalog of rail defects. Signs of defective and acute defective rails / JSC "Russian Railways", Department of Track and Structures. M., 2007.
16. Technological regulations for diagnostics and routine observations of roadbed objects for permanent operation./ JSC "RZD. MIIT. M.: NIITKD, 2007. 92 p.
17. Seismic exploration: handbook of geophysics. Edited by I.I. Gurvich, V.P. Nomokonov. M.: Nedra, 1981. 464 p.
18. Instructions on the current maintenance of the railway track, approved by the Order of JSC "Russian Railways" No. 2791r dated 12/29/2012.

#### Информация об авторах

**Мартыненко Любовь Викторовна** – старший преподаватель кафедры вагонов и вагонного хозяйства, Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск, e-mail: [liuba.martinenko@yandex.ru](mailto:liuba.martinenko@yandex.ru).

**Воронова Юлия Владиславовна** – канд. техн. наук, доцент кафедры вагонов и вагонного хозяйства, Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск, e-mail: [voronova\\_uv@irgups.ru](mailto:voronova_uv@irgups.ru).

**Иванова Вероника Андреевна** – магистрант, Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск, e-mail: [ivanova-veronika-98@mail.ru](mailto:ivanova-veronika-98@mail.ru).

#### Information about the authors

**Lyubov V. Martynenko** – Senior lecturer of the department Wagons and wagon economy, Irkutsk State Transport University, Irkutsk, e-mail: [liuba.martinenko@yandex.ru](mailto:liuba.martinenko@yandex.ru).

**Yulia V. Voronova** – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department Wagons and Wagon Economy, Irkutsk State Transport University, Irkutsk, e-mail: [voronova\\_uv@irgups.ru](mailto:voronova_uv@irgups.ru).

**Veronika A. Ivanova** – Master's student of ETTm, Irkutsk State Transport University, Irkutsk, e-mail: [ivanova-veronika-98@mail.ru](mailto:ivanova-veronika-98@mail.ru).