

11. Ochistka strelochnykh perevodov ot snega i l'da na zheleznykh dorogakh Severnoi Ameriki [Cleaning of switches from snow and ice on the railways of North America] // *Zheleznye dorogi mira [Railways of the world]*, 1998. No. 10. P. 72.
12. Tverdokhleб N. F. O sposobakh elektroobogreva strelochnykh perevodov [On the methods of electric heating of switches] // *Promyshlennyi transport [Industrial transport]*, 1988. No. 7 (199). P. 11.
13. Poyarkov S. S. *Ustroistvo zheleznodorozhnogo puti [Arrangement of the railway track]*. Author's certificate 0021200 A1 (USSR). IPC E01B2/00; E01B19/00. Application No. 66751 dated March 20, 1930; publ. July 31, 1931.
14. Gertsik D. V., Razmanov V. V., Semenov A. G. *Ustroistvo lokal'nogo obogreva zheleznodorozhnykh putei [A device for local heating of railway tracks]*. Pat. 2547666 C1 (RF). IPC E01B7/24, E01B19/00, E01H8/08. Application. No. 2013154/11 dated December 09, 2013; publ. April 10, 2015, Bull. No. 10.
15. Gertsik D. V., Semenov A. G. Ob aktual'nosti modernizatsii putevogo khozyaistva na zheleznoi doroge [On the relevance of modernization of track facilities on the railway] // *[Inventors in the innovation process of Russia]: Proceedings of the Scientific and Practical Conference with international participation, December 20-21, 2013]*. St. Petersburg: SPbSPU, Publishing House of Polytechnic University, Pp. 153-156.
16. Gertsik D. V., Semenov A. G. Innovatsii na zheleznykh dorogakh v surovom klimate: modernizatsiya sistemy elektroobogreva strelochnykh perevodov [Innovation on the Railways in the harsh climate: modernization of the system of electric heating of track switches] // *«Transportnye i transportno-tekhnologicheskie sistemy»: Materialy Mezhdunarodnoi nauch.-praktich. konf. 14 apr. 2016 g. [Transport and transport-technological systems": materials of the International scientific-practical. Conf. April 14, 2016]*, Tyumen, TyumGNGU Publ., 2016. Pp. 79-84.
17. Gertsik D. V., Semenov A. G. Innovatsii na zheleznykh dorogakh: alternativna elektroobogrevu strelochnykh perevodov [Innovation on railways: an alternative to electric heating of track switches] // *«Transportnye i transportno-tekhnologicheskie sistemy»: Materialy Mezhdunarodnoi nauch.-praktich. konf. 14 apr. 2016 g. [The transport and transport-technological systems": materials of the International scientific-practical conf. April 14, 2016]*. Tyumen', TyumGNGU Publ., 2016. Pp. 84-88.
18. Semenov A. Innovatsii na zheleznoi doroge: sistemy obogreva strelochnykh perevodov (monografiya) [Innovation on the railway: the heating systems of track switches (a monograph)]. LAP LAMBERT Academic Publishing. Saarbrucken – Berlin – Leipzig, Deutschland 04.2017. ISBN 978-3-330-07000-4.

#### Информация об авторах

**Герцик Дмитрий Викторович** – инж., главный механик, Октябрьская железная дорога (Зеленогорская дистанция пути), e-mail: angel.777@mail.ru

**Маломыжев Олег Львович** – канд. техн. наук, доцент, доцент кафедры вагонов и вагонного хозяйства, Иркутский государственный университет путей сообщения, e-mail: olm@bk.ru

**Семенов Александр Георгиевич** – канд. техн. наук, старший научный сотрудник, доцент, Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, Высшая школа транспорта, e-mail: agentnomer117@mail.ru

**Ходырев Юрий Анатольевич** – канд. техн. наук, доцент, доцент кафедры пути и путевого хозяйства, Иркутский государственный университет путей сообщения, e-mail: hod1959@mail.ru

**Маломыжев Дмитрий Олегович** – кафедра электроподвижного состава, Иркутский государственный университет путей сообщения, e-mail: kbprf13@gmail.com

#### Information about the authors

**Dmitrii V. Gertsik** – engineer, chief mechanic, the Oktyabr'skaya railway (Zelenogorsk track maintenance department), e-mail: angel.777@mail.ru

**Oleg L. Malomyzhev** – Ph.D. of Engineering Science, Associate Professor, Associate Professor of the Subdepartment of Cars and Rolling Stock, Irkutsk State Transport University, Irkutsk, e-mail: olm@bk.ru.

**Aleksandr G. Semenov** – Ph.D. of Engineering Science, Senior Research Officer, Associate Professor, Higher School of Transport, Peter the Great Saint Petersburg Polytechnic University, Saint Petersburg, e-mail: agentnomer117@mail.ru

**Yurii A. Khodyrev** – Ph.D. of Engineering Science, Associate Professor, Associate Professor of the Subdepartment of Track and Railway Facilities, Irkutsk State Transport University, Irkutsk, e-mail: hod1959@mail.ru

**Dmitrii O. Malomyzhev** – student, the Subdepartment of Electric Rolling Stock, Irkutsk State Transport University, Irkutsk, e-mail: kbprf13@gmail.ru

DOI 10.26731/1813-9108.2020.4(68).120-127

УДК 625.12

## Анализ деформаций земляного полотна в геодинамически активных районах на примере Восточно-Сибирской железной дороги

**Н. М. Быкова, С. А. Исаев**✉

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

✉ semen.isaev.1995@mail.ru

#### Резюме

В статье рассматривается проблема поведения земляного полотна железных дорог в геодинамически активных районах на примере участка Транссибирской магистрали Восточно-Сибирской железной дороги Бирюсинск – Горхон. При анализе схемы разломно-блоковой структуры юга Восточной Сибири становится очевидным, что Транссибирская магистраль зачастую пересекает участки с тектоническими нарушениями. При изучении литературы по эксплуатации инженерных сооружений, прослеживается влияние подвижек в зонах тектонических нарушений на такие сооружения, как тоннели, трубопроводы, гидроэлектростанции, резервуары, насыпи. Проанализированы существующие нормативные

документы, учитывающие воздействие экзогенных и эндогенных геологических процессов на железнодорожный путь. Представлена классификация тектонических движений земной коры и различных типов тектонических разрывов: сбросов, взбросов, надвигов, сдвигов и покровов. Рассмотрены основные дефекты и деформации земляного полотна, исследованы нормативные документы по проектированию и эксплуатации земляного полотна. Ясно, что влияние тектонических подвижек на земляное полотно никаким образом не отображается в нормативных документах. Выполнен сравнительный анализ расположения участков деформаций земляного полотна с участками пересечения железнодорожным путем зон с тектоническими нарушениями. На основании этого сравнения сделан вывод о совпадении участков деформированного земляного полотна с зонами тектонических нарушений. Сделано заключение о снижении эксплуатационных показателей земляного полотна в зонах тектонических нарушений, а также доказана необходимость совершенствования нормативной базы для проектирования и эксплуатации земляного полотна в таких зонах.

### Ключевые слова

земляное полотно железных дорог, деформации, зоны тектонических нарушений, учет геодинамической активности

### Для цитирования

Быкова Н. М. Анализ деформаций земляного полотна в геодинамически активных районах на примере Восточно-Сибирской железной дороги / Н. М. Быкова, С. А. Исаев // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. – 2020. – № 4 (68). – С. 120–127. – DOI: 10.26731/1813-9108.2020.4(68).120-127

### Информация о статье

поступила в редакцию: 15.08.2020, поступила после рецензирования: 24.08.2020, принята к публикации: 15.09.2020

## Analysis of roadbed deformations in geodynamically active regions by the example of the East Siberian railway

N. M. Bykova, S. A. Isaev✉

Irkutsk State Transport University, Irkutsk, the Russian Federation

✉ semen.isaev.1995@mail.ru

### Abstract

The article considers the problem of the behavior of the railway roadbed in geodynamically active regions using the example of the section of the Trans-Siberian Mainline of the East Siberian Railway from Biryusinsk station to Gorkhon station. When considering the scheme of the fault block structure in the south of Eastern Siberia, it becomes obvious that the Trans-Siberian Railway often crosses areas with tectonic faults. When studying the literature on the operation of engineering structures, one can trace the influence of movements in zones of tectonic disturbances on such structures as tunnels, pipelines, hydroelectric power plants, reservoirs, and embankments. The existing regulatory documents, considering the influence of exogenous and endogenous geological processes on the railway track, were analyzed. A classification of tectonic movements of the earth's crust and various types of tectonic faults is presented: faults, reverse faults, thrust faults, strike-slip faults and nappes. The main defects and deformations of the roadbed were discussed. The regulatory documents for the design and operation of the roadbed were analyzed, from which it becomes clear that the influence of tectonic movements on the roadbed is not reflected in any way in the regulatory documents. A comparative analysis of the location of roadbed deformation areas with areas where railroads cross zones with tectonic faults has been performed. On the basis of this comparison, a conclusion was made about the coincidence of the deformed roadbed sections with zones of tectonic faults. A conclusion was made on the decrease in the roadbed performance indicators in the zones of tectonic disturbances, and the need to improve the regulatory framework for the design and operation of the roadbed in these zones was proved.

### Keywords

railway roadbed, deformations, zones of tectonic faults, accounting for geodynamic activity

### For citation

Bykova N. M., Isaev S. A. Analiz deformatsii zemlyanogo polotna v geodinamicheski aktivnykh raionakh na primere Vostochno-Sibirskoi zheleznoi dorogi [Analysis of roadbed deformations in geodynamically active regions by the example of the East Siberian railway]. *Sovremennye tekhnologii. Sistemnyi analiz. Modelirovanie* [Modern Technologies. System Analysis. Modeling], 2020, No. 4 (68), pp. 120–127. – DOI: 10.26731/1813-9108.2020.4(68).120-127

### Article Info

Received: 15.08.2020, Revised: 24.08.2020, Accepted: 15.09.2020

### Введение

Железные дороги являются важнейшей частью транспортной инфраструктуры. Представляя собой

протяженное линейное сооружение, железная дорога порой пересекает участки со сложными инженерно-геологическими условиями. К таким участкам

зачастую относятся районы Дальнего Востока, Кавказа, Восточной и Западной Сибири. На это влияет сложный рельеф, геологическое строение, гидрологические условия, проявление экзогенных геологических процессов, сейсмические события и активность тектонических нарушений в земной коре.

Проблема влияния подвижек в зонах тектонических нарушений земной коры на инженерные сооружения: трубопроводы, тоннели, гидроэлектростанции, резервуары, рассматривается в ряде литературных источников [1–5]. Так, геофизиками утверждается, что все аварии на 12 км участке газопровода в районе Уфы происходят в зонах тектонических нарушений [2]. Некоторые авторы отмечают, что 80 % всех аварий магистральных трубопроводов связаны с тем, что они пересекают тектонически нарушенные зоны. Причем отмечается повторяемость аварийных событий на этих участках и после ремонта [3]. Рассматривается влияние подвижек блоков в разломной зоне на увеличение внутренних усилий в тоннельных обделках [4], описываются случаи просадки железнодорожных насыпей при пересечении ими тектонических нарушений [2] (рис. 1).

Следует отметить, что учет влияния подвижек активных тектонических нарушений на земляное полотно в нормативной литературе по эксплуатации и проектированию железных дорог отсутствует. Поэтому представляется актуальным вопрос рассмотрения поведения земляного полотна при пересечении им участков с проявлением тектонических движений. В качестве рассматриваемого участка логично выбрать район с повышенной геодинамической активностью. К таким участкам относится, в том числе, Транссибирская железнодорожная магистраль России, особенно в границах пересечения Байкальской рифтовой зоны.

### Анализ требований нормативных документов

Действующие в России нормативные документы по проектированию земляного полотна представлены СП 119.13330.2017 «Железные дороги колеи 1520 мм» [6], СП 32-104-98 «Проектирование земляного полотна железных дорог колеи 1 520 мм» [7], СП 238.1326000.2015 «Железнодорожный путь» [8] и эксплуатации ЦП-544 «Инструкция по содержанию земляного полотна железнодорожного пути» [9]. Выполнение требований этих нормативных документов обеспечивает бесперебойное и безопасное движение поездов с установленными скоростями. Однако выполнение всех этих требований не обеспечивает исключение различных повреждений и неисправностей по разным причинам, в том числе по причинам необеспечения геодинамической безопасности.

Геологические процессы принято разделять на две большие группы: экзогенные и эндогенные. Экзогенные геологические процессы происходят в результате воздействия атмосферы и гидросферы на поверхностную часть земной коры. К экзогенным процессам относят оползни, лавины, обвалы, осыпи, эрозию, сели, карст, дефляцию, абразию, наледи. При проектировании нового и реконструкции существующего железнодорожного пути экзогенные процессы учитываются требованиями СП 116.13330.2012 «Инженерная защита территории, зданий и сооружений от опасных геологических процессов» [10]. Опыт эксплуатации дорог позволил разработать различные конструктивно-технологические решения для защиты дорог на таких опасных участках.

Эндогенные процессы возникают под действием внутренней энергии Земли. Из числа этих процессов, определяющих в наибольшей степени геодинамическую обстановку железнодорожного пути,

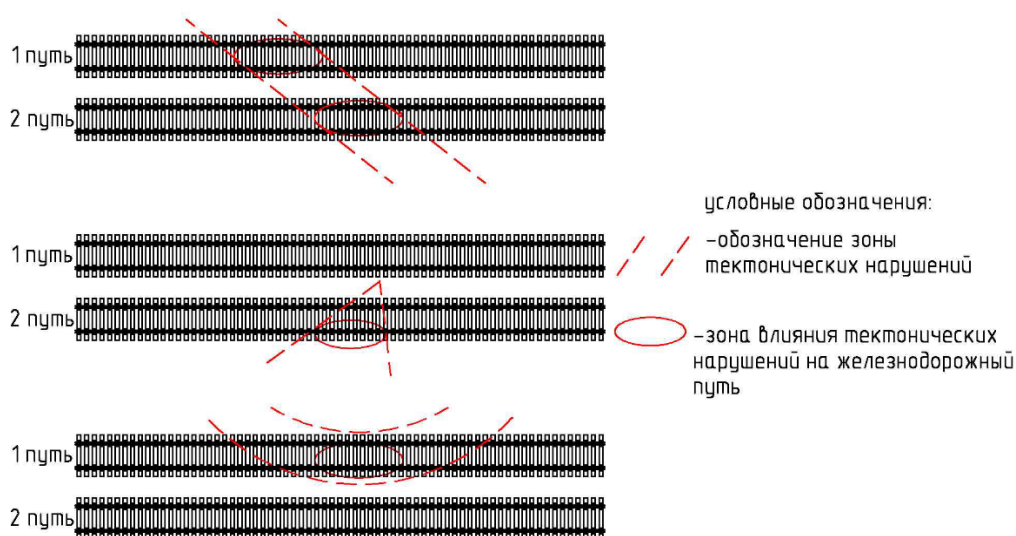


Рис. 1. Деформации земляного полотна в зоне тектонических нарушений  
 Fig. 1. Deformations of the subgrade in the zone of tectonic faults

наиболее значимыми являются сейсмическая активность и тектонические подвижки в местах разломов земной коры. В практике изысканий и проектирования земляного полотна в наибольшей степени разработан учет сейсмической активности, что находит отражение в требованиях нормативных документов [11–13]. Влияние активности тектонических нарушений на транспортные сооружения не нашло должного внимания в нормативной литературе.

Группы тектонических движений земной коры подразделяют на колебательные и дислокационные. Колебательные процессы представлены медленными вековыми поднятиями и опусканиями поверхности Земли [14]. Можно привести множество примеров современных вертикальных движений [15–17]. Высокоточным инструментальным методом установлено, что Малый Кавказ поднимается сейчас со скоростью от 8 до 13,5 мм в год, а горные сооружения Восточных Карпат растут со скоростью 1,5–1,7 мм в год. Балтийский щит в Скандинавии растет вверх со скоростью 8–10 мм в год. В Байкальской рифтовой зоне на отдельных участках скорость современных вертикальных движений может составлять 10–20 мм в год.

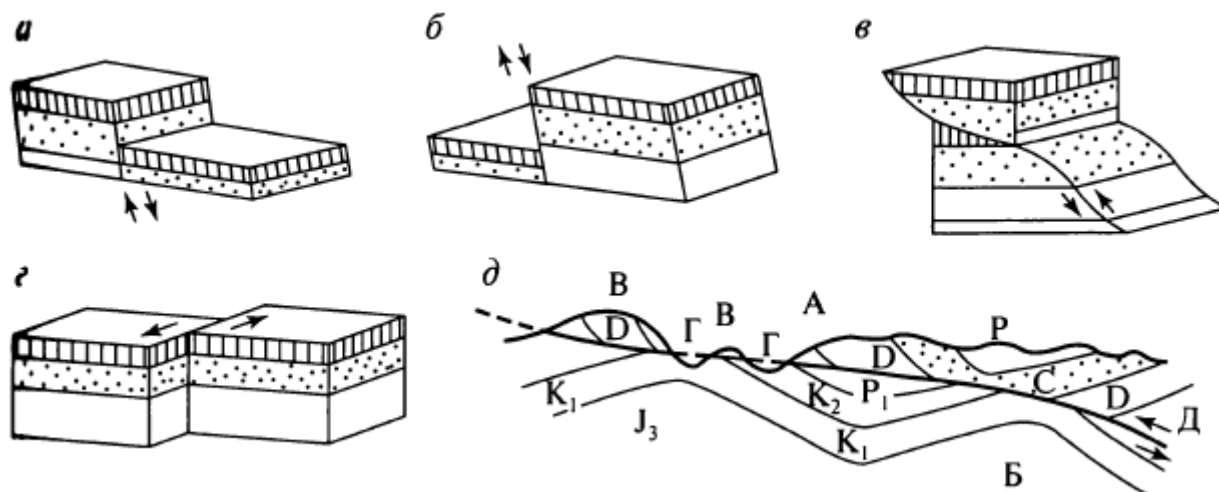
Дислокационные движения сопровождаются нарушением первоначального залегания горных пород и подразделяются на пликативные (складчатые) и дизъюнктивные (разрывные) нарушения. Пликативные нарушения образуются под действием тектонических напряжений и обуславливают образование складок земной коры. Это в конечном счете влияет на рельеф. Когда тектонические напряжения превышают прочность горных пород, образуются дизъюнктивные (разрывные) нарушения в виде разломов.

В любом разрывном нарушении выделяют поверхность разлома и крылья разлома или два блока

по обе стороны от поверхности разлома, подверженных смещению. Так как поверхность разлома почти всегда наклонена, то блок, расположенный выше этой поверхности, называют *висячим*, а блок лежащий ниже – *лежащим*. В зависимости от направления движения висячего блока выделяют несколько главных типов разломов – *взброс*, *сдвиг*, *надвиг*, *сброс* и *шарьяж* (*покров*). При сбросе висячий блок расположен ниже лежащего, при взбросе – наоборот. При сдвиге смещение происходит вдоль поверхности разлома. Надвиг схож с взбросом, отличается более пологой поверхностью разрыва. У шарьяжа поверхность разрыва почти горизонтальна (рис. 2). Разломы рассекают литосферу на тектонические блоки, образуя разломно-блоковую структуру. Представлен пример разломно-блоковой структуры для юга восточной Сибири [18] (рис. 3).

Следует отметить требование пункта 5.5 недавно введенного СП 268.1325800.2016: «трасса дороги должна выбираться, как правило, с обходом мест выхода на земную поверхность возникающих при землетрясениях тектонических разрывов». Однако почти вся трасса железнодорожного пути Транссибирской магистрали была запроектирована до введения этого требования. К тому же, учитывая разломно-блоковую структуру земной коры отдельных территорий (рис. 3), зачастую невозможно проложить трассу в обход разломов.

Транссибирская магистраль простирается почти на всю длину территории России с запада на восток, пересекает разломно-блоковые структуры Восточной Сибири, огибая южные районы озера Байкал. Железная дорога является природно-технической системой, взаимодействующей с геологической средой. С одной стороны грузопотоки и их вибрации влияют на верхние пласты земной поверхности, с



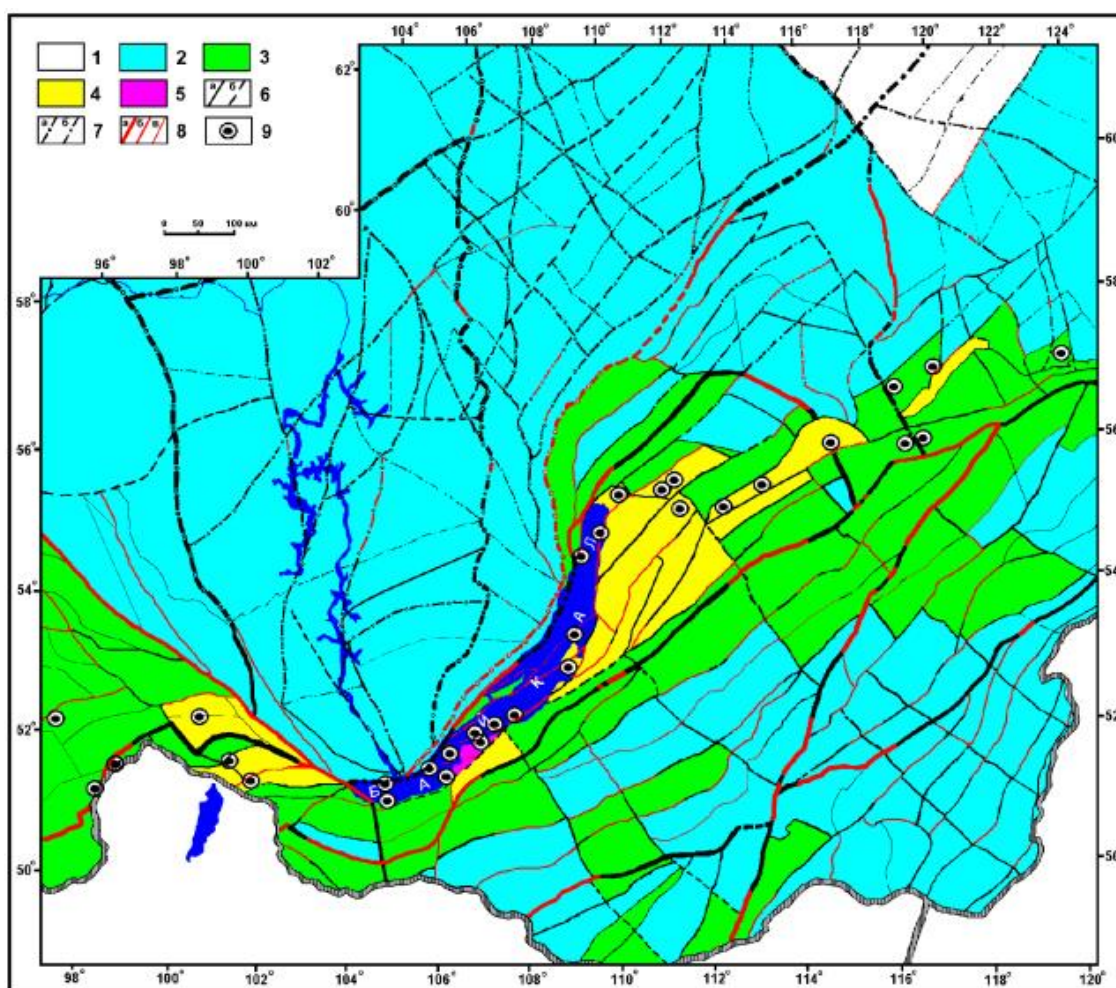
**Рис. 2.** Различные типы тектонических разрывов:

*a* – сброс; *b* – взброс; *в* – надвиг; *г* – сдвиг; *д* – покров

**Fig. 2.** Different types of tectonic fractures:

*a* – fault; *b* – reverse fault; *c* – thrust fault; *d* – strike-slip fault; *e* – nappe





**Рис. 3.** Схема разломно-блоковых структур юга Восточной Сибири и их относительной стабильности: 1–5 – степень стабильности разломно-блоковых структур (1 – стабильные, 2 – относительно стабильные, 3 – относительно нестабильные, 4 – нестабильные, 5 – весьма нестабильные); 6 – разломы; 7 – разломы под осадочным чехлом платформы; 8 – активизированные участки разломов; 9 – эпицентры зафиксированных сильных землетрясений ( $K > 13$ )

**Fig. 3.** The scheme of fault block structures of the Southern East Siberia, and their relative stability: 1–5 – degrees of stability of fault block structures (1 – stable, 2 – relatively stable, 3 – relatively unstable, 4 – unstable, 5 – very unstable); 6 – faults; 7 – faults under the sedimentary cover of the platform; 8 – activated segments of faults; 9 – epicenters of recorded strong earthquakes ( $K > 13$ )

другой – геологическая среда вносит свой вклад в развитие повреждений железнодорожного пути. И первым элементом железной дороги, воспринимающим это воздействие, является нижнее строение пути, которое в большинстве случаев представлено земляным полотном.

#### Деформации земляного полотна железных дорог

Деформации и дефекты земляного полотна являются при непрерывном текущем содержании. Правила содержания земляного полотна прописаны в ЦП-544 «Инструкция по содержанию земляного полотна железнодорожного пути».

Учет деформаций земляного полотна с начала эксплуатации железной дороги осуществляется пу-

тем ведения документации: паспорт неустойчивого или деформирующегося земляного полотна (форма ПУ-9), ведомости учета пучинных мест на главных путях (форма ПУ-10), книга противодеформационных сооружений земляного полотна (форма ПУ-14). С точки зрения оценки надежности пути эти документы являются источником статистической информации отказов земляного полотна.

К наиболее распространенным дефектам и деформациям относятся:

- дефекты и деформации основной площадки земляного полотна;
- дефекты и деформации откосов;
- дефекты и деформации тела и основания земляного полотна;

– слабые основания;  
– повреждения и разрушения земляного полотна, подверженного неблагоприятным природным воздействиям (из эндогенных процессов учитывают только повреждения при землетрясениях).

В конце XX в. была разработана технология геодинамического районирования железнодорожных трасс по признакам тектонической активности [1]. При районировании использовались геоморфологические, геологические, гидрологические, геофизические, геодезические методы и технические – анализ отказов сооружений. В результате была составлена километровая карта Транссибирской магистрали в пределах Восточно-Сибирской и Красноярской железных дорог, при этом выделены участки разломов, поднятия, опускания блоков земной коры, места сопряжений и спокойные участки. Участками сопряжений названы места границ тектонических блоков, подвижки которых ориентированы в разных направлениях. Места с отсутствием тектонических подвижек характеризуются как спокойные.

На созданные карты наложена статистика деформаций земляного полотна на участке Транссибирской магистрали Восточно-Сибирской железной дороги Бирюсинск – Горхон протяженностью 1 247 км. Данные деформаций земляного полотна взяты из карточек ПУ-9 Восточно-Сибирской железной дороги за 1960–2019 гг. (табл.).

### Результаты анализа

Отказы земляного полотна железнодорожного пути связаны с многими причинами: составом и состоянием грунта, изменением влажности, действующими нагрузками и вибрациями от подвижного состава. Тем не менее, максимальное количество деформаций земляного полотна зафиксировано в местах тектонических нарушений на разломах и сопряжениях блоков земной коры: сплывы и осыпи

откосов насыпей и выемок (66–100 %); осадки насыпей (60 %). В большей степени сплывы откосов насыпей – 92 %. На участках опускания и тектонически спокойных районах проявляется минимальное количество отказов деформаций земляного полотна (12–13 %). Исключением являются места обвалов скальных выемок, причиной которых являются выветривание, гравитационные процессы. Характерно проявление сплывов откосов выемок на участках поднятия блоков.

### Заключение

1. Анализ мест расположения деформаций земляного полотна на участке Транссибирской магистрали в Восточной Сибири длиной 1 274 км за 59 лет показал, что большая часть деформаций земляного полотна связана с тем, что участок расположен в местах тектонических нарушений: разломах и сопряжениях блоков земной коры (66–100 %). Это может быть объяснено тем, что для таких участков характерна повышенная трещиноватость и обводненность горных пород основания, поэтому имеется большое количество сплывов и обвалов откосов, осадок насыпей. При условии повышенной сейсмичности рассматриваемой территории (7–9 баллов по шкале MSK-64) [6] на участках разломов наблюдаются наибольшие амплитуды колебаний поверхности. Учитывая, что такие подвижки происходят скачкообразно, можно предположить, что они являются своего рода «спусковым крючком» деформаций. Таким образом, не только природно-климатические факторы, экзогенные геологические процессы и техногенные воздействия, но и тектонические подвижки являются причинами деформаций земляного полотна.

2. Нормативная документация [9] не рассматривает условия содержания земляного полотна с учетом фактора влияния тектонических подвижек. Оче-

Количественный анализ расположения деформаций земляного полотна относительно карты геодинамического районирования Транссибирской магистрали Восточно-Сибирской железной дороги

Quantitative analysis of the location of deformations of the roadbed relative to the map of geodynamic zoning of the Trans-Siberian mainline of the East Siberian Railway

Вид деформации земляного полотна	Опускание, %	Поднятие, %	Разлом, %	Сопряжение, %	Спокойное, %	Суммарная длина деформаций, км
Сплыв откоса полувыемки	0,00	0,00	100,00	0,00	0,00	0,17
Сплыв откоса насыпи	0,00	0,00	65,47	26,76	7,77	1,70
Сплыв откоса выемки	0,00	21,22	52,53	13,78	12,48	5,01
Осыпь выветрелого скального откоса	0,00	0,00	14,53	85,47	0,00	0,59
Осадка насыпи	13,02	25,98	60,99	0,00	0,00	6,47
Вывал, обвал или обрушение скальных откосов	30,22	12,48	37,27	7,30	12,72	22,19

видно это связано с тем, что деформации земляного полотна от воздействия только тектонических подвижек сложно выделить из общих (суммарных) деформаций земляного полотна. Представляется целесообразным при описании деформаций в зонах разломов и сопряжений ввести понятие «деформация земляного полотна в зоне активности тектонических нарушений».

3. Учитывая, что на участках активности тектонических нарушений железнодорожный путь обла-

дает пониженной эксплуатационной надежностью, необходимо проведение дополнительных исследований по оценке устойчивости земляного полотна и обеспечению требуемого уровня безопасности земляного полотна. С практической стороны содержания таких участков следует предусмотреть увеличение частоты осмотров и мониторинга технического состояния земляного полотна и железнодорожного пути в целом.

### Библиографический список

1. Быкова Н.М. Транспортные сооружения на активных геоструктурах. Технологии системного подхода [Текст] / Н.М. Быкова. Новосибирск: Наука, 2008. 212 с.
2. Гликман А.Г. Физика и практика спектральной сейсморазведки: [Электронный ресурс]. 2002. URL: <https://newgeophys.spb.ru/ru/book/index.shtml> (Дата обращения 15.05.2020).
3. Войтенко С.П., Учитель И.Л., Ярошенко В.Н., Капочкин Б.Б. Геодинамика. Основы кинематической геодезии. Одесса: Астропринт. 2007. 264 с.
4. Оценка сопротивления чугунных обделок железнодорожных тоннелей геодинамическим воздействиям [Электронный ресурс] / Зайнагабдинов // Транспортное строительство. 2014. № 10. С. 12–15. URL: <https://rucont.ru/efd/482891> (Дата обращения 15.05.2020).
5. Лебедева М.А., Саньков В.А., Захаров А.И., Захарова Л.Н. Деформации земной поверхности вблизи трассы Байкало-Амурской железнодорожной магистрали по данным дифференциальной РСА интерферометрии. Геодинамика и тектонофизика. 2016, № 7(2). С. 315–328. URL: <https://doi.org/10.5800/GT-2016-7-2-0209> (Дата обращения 15.05.2020).
6. СП 119.13330.2017. Железные дороги колеи 1520 мм. М., 2017. 48 с.
7. СП 32-104-98. Проектирование земляного полотна железных дорог колеи 1520 мм. М.: Госстрой России; ГУП ЦПП, 1999. 91 с.
8. СП 238.1326000.2015. Железнодорожный путь. М., 2015. 71 с.
9. ЦП-544. Инструкция по содержанию земляного полотна железнодорожного пути. М.: Транспорт, 1998. 189 с.
10. СП 116.13330.2012. Инженерная защита территорий, зданий и сооружений от опасных геологических процессов. Основные положения. М.: Минрегион России, 2012.
11. СП 14.13330.2018. Строительство в сейсмических районах. М.: Стандартинформ, 2018. 115 с.
12. СП 268.1325800.2016. Транспортные сооружения в сейсмических районах. Правила проектирования. М., 2016. 107 с.
13. СП 269.1325800.2016. Транспортные сооружения в сейсмических районах. Правила уточнения исходной сейсмичности и сейсмического микрорайонирования. М.: Минстрой России. 2016. 77 с.
14. Гальперин А.М. Геология: Ч. IV. Инженерная геология / А.М. Гальперин, В.С. Зайцев. Вологда: Инфра-Инженерия, 2011. 559 с.
15. Короновский Н.В., Ясаманов Н.А. Геология. М.: Академия, 2011. 448 с.
16. Николаев Н.И. Новейшая тектоника и геодинамика литосферы. М.: Недра, 1988. 491 с.
17. Цытович Н.А., Тер-Мартirosян З.Г. Основы прикладной геомеханики в строительстве, М., Высшая школа, 1981. 317 с.
18. Шерман С.И. Деструкция литосферы: разломно-блоковая делимость и ее тектонофизические закономерности. Геодинамика и тектонофизика. 2012, № 3(4). С. 315–344. URL: <https://doi.org/10.5800/GT-2012-3-4-0077>.

### References

1. Bykova N.M. Transportnye sooruzheniya na aktivnykh geostrukturakh. Tekhnologii sistemnogo podkhoda [Transport structures on active geostructures. System approach technologies]. Novosibirsk: Nauka Publ., 2008. 212 p.
2. Glikman A.G. Fizika i praktika spektral'noi seisemorazvedki [Physics and practice of spectral seismic exploring] [Electronic media]. 2002. URL: <https://newgeophys.spb.ru/ru/book/index.shtml>. Accessed May 15, 2020.
3. Voitenko S.P., Uchitel' I.L., Yaroshenko V.N., Kapochkin B.B. Geodinamika. Osnovy kinematcheskoi geodezii [Geodynamics. Fundamentals of kinematic geodesy]. Odessa: Astroprint Publ., 2007. 264 p.
4. Zainagabdinov D.A. Otsenka soprotivleniya chugunnykh obdelok zheleznodorozhnykh tonnelei geodeformatsionnym vozdeistviyam [Assessment of the resistance of cast-iron lining of railway tunnels to geodeformational effects]. *Transportnoe stroitel'stvo* [Transport construction], 2014. No. 10. Pp. 12–15. [Electronic media]. URL: <https://rucont.ru/efd/482891>. Accessed May 15, 2020.
5. Lebedeva M.A., Sankov V.A., Zakharov A.I., Zakharova L.N. Deformatsii zemnoi poverkhnosti vblizi trassy Baykalo-Amurskoi zheleznodorozhnoi magistrali po dannym differentsial'noi RSA interferometrii [Surface deformations near the Baikal–Amur railway from differential SAR interferometry data]. *Geodinamika i tektonofizika* [Geodynamics and tectonophysics], 2016. No. 7(2). Pp. 315–328. [Electronic media]. URL: <https://doi.org/10.5800/GT-2016-7-2-0209>. Accessed May 15, 2020.
6. SP 119.13330.2017 Zheleznye dorogi kolei 1520 mm [SP 119.13330.2017 Railways with 1520 mm track]. Moscow, 2017. 48 p.

7. SP 32-104-98. Proektirovanie zemlyanogo polotna zheleznykh dorog kolei 1520 mm [SP 32-104-98. Design of the subgrade of 1520 mm gauge railways]. Moscow: Gosstroj Rossii Publ., GUP TsP Publ., 1999. 91 p.
8. SP 238.1326000.2015. Zheleznodorozhnyi put' [SP 238.1326000.2015. Railway track]. Moscow, 2015. 71 p.
9. TsP-544. Instruksiya po soderzhaniyu zemlyanogo polotna zheleznodorozhnogo puti [TsP-544. Instructions for the maintenance of the railway track roadbed]. Moscow, 1998. 189 p.
10. SP 116.13330.2012. Inzhenernaya zashchita territorii, zdaniy i sooruzhenii ot opasnykh geologicheskikh protsessov. Osnovnye polozheniya [SP 116.13330.2012. Engineering protection of territories, buildings and structures from dangerous geological processes. The main provisions]. Moscow: Minregion Rossii Publ., 2012.
11. SP 14.13330.2018. Stroitel'stvo v seismicheskikh rayonakh [SP 14.13330.2018. Construction in seismic areas]. Moscow: Standartinform Publ., 2018. 115 p.
12. SP 268.1325800.2016. Transportnye sooruzheniya v seismicheskikh rayonakh. Pravila proektirovaniya [SP 268.1325800.2016. Transport facilities in seismic regions. Design rules]. Moscow, 2016. 107 p.
13. SP 269.1325800.2016. Transportnye sooruzheniya v seismicheskikh rayonakh. Pravila utochneniya iskhodnoi seismichnosti i seismicheskogo mikrorayonirovaniya [SP 269.1325800.2016. Transport structures in seismic zones. Rules for initial seismicity detailing and seismic microzoning]. Moscow, 2016. 77 p.
14. Gal'perin A.M. Geologia: Ch. IV. Inzhenernaya geologiya [Geology: Part IV. Engineering geology]. Vologda: Infra-Inzheneriya Publ., 2011. 559 p.
15. Koronovskii N.V., Yasamanov N.A. Geologia [Geology]. Moscow: Akademia Publ., 2011. 448 p.
16. Nikolaev N.I. Noveishaya tektonika i geodinamika litosfery [The latest tectonics and geodynamics of the lithosphere]. Moscow: Nedra Publ., 1988. 491 p.
17. Tsytoich N.A., Ter-Martirosyan Z.G. Osnovy prikladnoi geomekhaniki v stroitel'stve [Fundamentals of applied geomechanics in construction]. Moscow: Vysshaya shkola Publ., 1981. 317 p.
18. Sherman S.I. Destruction of the lithosphere: Fault-block divisibility and its tectonophysical regularities. *Geodynamics & Tectonophysics*, 2012. No. 3 (4). Pp. 315–344. URL: <https://doi.org/10.5800/GT-2012-3-4-0077>.

#### Информация об авторах

**Быкова Наталья Михайловна** – канд. техн. наук, доцент, заведующий кафедрой строительства железных дорог, мостов и тоннелей, Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск, e-mail: nauka.transport@yandex.ru

**Исаев Семен Александрович** – аспирант кафедры строительства железных дорог, мостов и тоннелей, Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск, e-mail: semen.isaev.1995@mail.ru

#### Information about the authors

**Natal'ya M. Bykova** – Ph.D. in Engineering Science, Associate Professor, Head of the Subdepartment of Construction of Railways, Bridges and Tunnels, Irkutsk State Transport University, Irkutsk, e-mail: nauka.transport@yandex.ru

**Semen A. Isaev** – Ph.D. student of the Subdepartment of Construction of Railways, Bridges and Tunnels, Irkutsk State Transport University, Irkutsk, e-mail: semen.isaev.1995@mail.ru

DOI 10.26731/1813-9108.2020.4(68).127-134

УДК 625.7:004.942

## Моделирование сценариев повышения технического уровня и эксплуатационного состояния Новокузнецкой кольцевой автомобильной дороги, реализуемых на основе механизма государственно-частного партнерства

В. А. Буйвис<sup>1</sup>, А. В. Новичихин<sup>2</sup>✉

<sup>1</sup> Сибирский государственный индустриальный университет, г. Новокузнецк, Российская Федерация

<sup>2</sup> Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I,

г. Санкт-Петербург, Российская Федерация

✉ novitchihin@bk.ru

#### Резюме

Транспортно-эксплуатационное состояние автомобильных дорог и уровень развития автодорожного комплекса не в полной мере отвечают современным требованиям региональной экономики, что существенно сдерживает социально-экономическое развитие. В работе определено состояние автодорожного комплекса Кемеровской области – Кузбасса. Выявлены основные причины несоответствия автомобильных дорог нормативным требованиям к транспортно-эксплуатационному состоянию и особенности функционирования современного автодорожного комплекса региона. Для решения задачи, повышения технического уровня и эксплуатационного состояния автомобильных дорог, в работе предлагается привлечение частных инвестиций в инфраструктурные проекты с помощью механизмов государственно-частного партнерства. Задача решена на примере объекта - Кольцевая автодорога города Новокузнецка (южный обход). Для решения задачи предложен дополнительный набор индикаторов для оценивания проектов государственно-частного партнерства в автодорожном комплексе. Разработаны сценарии повышения технического уровня и эксплуатационного