

## ОЦЕНКА ЭКОНОМИЧЕСКОГО УЩЕРБА ОТ ПРИРОДНЫХ ОПАСНОСТЕЙ ДЛЯ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

© 2024 С. В. Бадина<sup>1, 2, \*</sup>, А. С. Турчанинова<sup>1, \*\*</sup>,  
В. Л. Бабурин<sup>1, \*\*\*</sup>, А. М. Минченкова<sup>3, \*\*\*\*</sup>

<sup>1</sup>Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова,  
географический факультет, Москва, Россия

<sup>2</sup>Российский экономический университет им. Г.В. Плеханова, Москва, Россия

<sup>3</sup>Университет Бернардо О'Хиггинса, Сантьяго, Чили

\*e-mail: bad412@yandex.ru

\*\*e-mail: alla\_wave87@mail.ru

\*\*\*e-mail: vbaburin@yandex.ru

\*\*\*\*e-mail: aleksandra.minchenko@ubo.cl

Поступила в редакцию 03.05.2023 г.

После доработки 06.10.2023 г.

Принята к публикации 26.12.2023 г.

В статье предложен методический подход к количественной оценке прямого экономического ущерба от неблагоприятных и опасных природных процессов и явлений для железных дорог — элемента критически важной инфраструктуры Российской Федерации. Методика основана на нормативном подходе к оценке восстановительной стоимости железнодорожных линий, варьирующейся в зависимости от цены строительства в географических и климатических условиях конкретного региона. Результаты представлены в разрезе муниципальных образований, что позволяет лучше учитывать внутрирегиональные различия и облегчает возможность их сопоставления с параметрами, характеризующими природные опасности (наводнения, опасные склоновые и геокриологические процессы и др.). Проведенные расчеты показали, что предельная стоимость замены железнодорожных линий в случае реализации угроз природного характера для страны в целом составляет порядка 11 трлн руб. в ценах 2021 г., или примерно 8.4% от ВВП России за этот год. На первые по величине предельного размера вероятного ущерба 10 регионов — Иркутскую, Амурскую, Свердловскую области, Хабаровский, Забайкальский, Красноярский, Алтайский, Краснодарский, Приморский края и Республику Бурятию — приходится свыше 40% всей восстановительной стоимости. Именно в этих регионах особо актуальны меры по защите основных фондов железнодорожного транспорта. Полученные данные могут быть использованы в исследованиях природного и техногенного риска: путем их сопоставления с параметрами, характеризующими воздействие опасных природных процессов и явлений, можно прогнозировать риск и вероятные ущербы для объектов железнодорожной инфраструктуры на определенных территориях. На примере снежных лавин и деградации многолетней мерзлоты вследствие климатических изменений в Российской Арктике продемонстрированы возможности подобного рода оценок.

**Ключевые слова:** природные риски, экономический ущерб, железные дороги, основные фонды, критическая инфраструктура, снежные лавины, многолетняя мерзлота

**DOI:** 10.31857/S2587556624010028, **EDN:** GLOZFW

### ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ

Проблематика прогнозирования экономических ущербов от природных и техногенных опасностей является актуальным направлением научных исследований во всем мире, поскольку

в XX–XXI вв. весьма устойчиво проявляется тренд к повышению количества природных катастроф и величины негативных последствий от их воздействия (Осипов, 2001; Порфирьев, 2015). На это влияют не столько объективные природно-климатические трансформации, сколько повышение

плотности населения и его экономической деятельности в районах, наиболее опасных с точки зрения уровня природного риска<sup>1</sup>.

Важнейшими экономическими инструментами снижения риска стихийных бедствий являются прямые инвестиции, направленные на защитные превентивные мероприятия (в том числе дополнительные капитальные и текущие затраты на усиление надежности объектов, проектируемых и эксплуатируемых в зонах активного действия природных опасностей) и страхование. Последний инструмент по ряду причин, к сожалению, еще не получил должного развития в России. Например, по данным Global Risks Report 2023<sup>2</sup>, за последние 20 лет страхование покрыло только 7% экономических потерь от наводнений в развивающихся странах и 31% — в странах с развитой экономикой. При этом оба этих механизма экономического регулирования природного риска могут быть эффективными лишь при условии их опоры на достоверные научные прогнозы величины ожидаемого ущерба и интегрального уровня риска. Вместе с тем методические подходы к оценке ущербов и риска в настоящее время не унифицированы и сложно воспроизводимы (Badina and Pankratov, 2021). Поэтому научный поиск в данной области имеет большое практическое значение.

Железные дороги являются объектами критической инфраструктуры (Murray and Grubestic, 2007), поэтому нарушение их функционирования, вызванное, в частности, чрезвычайными ситуациями природного характера, может негативно влиять на устойчивость функционирования крупных территориальных социально-экономических систем самого разного уровня (от локальных до глобальных, в случае, например, нарушения логистических цепочек транспортировки важных экспортных грузов).

В современных российских исследованиях, связанных с оценкой вероятных ущербов для железных дорог от воздействия различных природных опасностей, серьезные трудности связаны с отсутствием необходимой статистической информации в открытом доступе. Например, в работах (Порфирьев, Елисеев, 2023; Badina, 2021) предлагается подход к оценке недвижимой части основных фондов по видам экономической деятельности в соответствии с ОКВЭД в сильно укрупненном формате — для всей отрасли «Транспортировка и хранение», что не позволяет выделить из этой суммы ущерба, связанные с линейными объектами железнодорожной инфраструктуры. В связи с этим представляется

необходимым более детально и подробно остановиться на методических аспектах прогнозирования прямого экономического ущерба от чрезвычайных ситуаций природного характера для железнодорожных линий.

## ДАННЫЕ И МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

В рамках данного исследования природный риск понимается как сочетание вероятности и последствий наступления неблагоприятных событий. Наиболее общим показателем риска считается математическое ожидание (среднее значение) ущерба от опасного события за определенный период времени (Мягков, 1995; Порфирьев, 2011; Природные ..., 2002):

$$R = Q\Delta t w,$$

где  $Q(\Delta t)$  — вероятность реализации природной опасности (наводнения, опасных склоновых или геокриологических процессов и др.), повлекшей за собой ущерб за интервал времени  $t$ ;  $w$  — величина ущерба.

Оценка величин потенциальных ущербов помогает грамотно и своевременно распределять инвестиции на защитные мероприятия с целью предотвращения или сокращения ущербов (в первую очередь речь идет о мероприятиях по инженерно-технической защите железнодорожной инфраструктуры) в пределах наиболее уязвимых участков. В качестве наиболее широко распространенных природных опасностей, влекущих за собой прямые экономические ущербы для железнодорожной инфраструктуры в России, можно выделить наводнения, опасные склоновые процессы (например, снежные лавины, оползни, обвалы и селевые потоки) и опасные геокриологические явления (например, термокарст, пучение грунтов, солифлюкция, наледи). С учетом ключевых геофизических характеристик этих явлений и специфики их воздействия на основные фонды (Бабулин, Бадина, 2015; Anisimov and Reneva, 2006) принято целесообразным в первую очередь оценить вероятные прямые ущербы для линейной инфраструктуры (железнодорожных линий). Вероятность разрушения и необходимости полной замены (т.е. среднегодовой риск) для других наиболее дорогих элементов железнодорожной инфраструктуры (мостовых переходов, тоннелей и пр.) существенно ниже, поэтому они не рассмотрены в данной работе. Кроме того, они, несомненно, требуют рассмотрения в более крупном масштабе

<sup>1</sup> World Urbanization Prospects. The 2018 Revision. NY: United Nations, 2019. 103 p. <https://population.un.org/wup/publications/Files/WUP2018-Report.pdf> (дата обращения 03.03.2023).

<sup>2</sup> Global Risks Report 2023. Switzerland: World Economic Forum, 2023. 98 p. <https://www.weforum.org/reports/global-risks-report-2023/> (дата обращения 03.03.2023).

с лучшим учетом локальных условий, что нельзя реализовать на заданном в данном исследовании общестрановом масштабе.

В качестве территориального уровня для оценки вероятных ущербов был выбран уровень муниципальных образований. Он позволяет лучше учесть внутрирегиональную дифференциацию физико-географических условий и характеризующих их параметров (Badina, 2021). Всего в рамках исследования были рассмотрены 1112 муниципальных образований 79 регионов Российской Федерации, имеющих железнодорожное сообщение.

Для оценки предельных величин стоимости замещения железнодорожных линий (как принятого в данном исследовании индикаторе вероятных ущербов) в разрезе муниципальных образований на первом этапе была оцифрована актуальная карта железных дорог Российской Федерации. Рассмотрены преимущественно ключевые магистральные линии. С помощью пакетов ESRI ArcGIS слой с сеткой муниципальных образований был наложен на слой с железными дорогами, затем, с использованием соответствующих программных инструментов, была рассчитана их протяженность в границах каждого муниципалитета.

В основу дальнейших расчетов был заложен нормативный подход. Для расчета искомого показателя стоимости полной замены железнодорожных путей в случае реализации угрозы природного характера была адаптирована методика, разработанная Министерством строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации – “Укрупненные нормативы цены строительства. НЦС 81-02-07-2021. Сборник № 07. Железные дороги”<sup>3</sup>. Норматив цены строительства (далее – НЦС) представляет собой показатель потребности в денежных средствах, необходимых для возведения объектов железнодорожного транспорта, рассчитанный на установленную единицу измерения (в данном случае – 1 км железнодорожной линии). Показатели НЦС рассчитаны на основе ресурсных моделей в уровне цен по состоянию на 1 января 2021 г., соответственно, результаты оценки ущербов также даны в ценах 2021 г.

НЦС учитывает исчерпывающий круг издержек: затраты на оплату труда рабочих и эксплуатацию строительных машин, стоимость строительных материальных ресурсов и оборудования, а также стоимость их транспортировки, накладные расходы и сметную прибыль, затраты на строительство временных зданий и сооружений, дополнительные затраты при осуществлении строительно-монтажных работ в зимнее время, затраты на проектно-изыскатель-

ские работы и экспертизу проекта, строительный контроль, резерв средств на непредвиденные работы и затраты.

Показатели НЦС на устройство железнодорожных линий дифференцированы в зависимости от категории железнодорожной линии, категории местности по рельефу. В столь мелком масштабе исследования не представляется возможным принять во внимание некоторые второстепенные характеристики, например, группы грунтов и различных условий отсыпки земляного полотна.

В расчетах для прогнозирования ущербов были приняты следующие допущения:

1) рассматривалась стоимость строительства новой однопутной железнодорожной линии на автономной тяге;

2) рассматривались магистральные железнодорожные линии II категории, т.е. линии, обеспечивающие скорости движения поездов до 160 км/ч, с расчетной годовой приведенной грузонапряженностью (брутто в грузовом направлении), на десятый год эксплуатации равной 15–30 млн т · км/км в год.

Экспертным методом были определены преобладающие в рамках каждого региона категории местности по рельефу (учитывались, соответственно, лишь части территории, где непосредственно проложены железнодорожные линии): I – незначительно пересеченная местность с широкими водоразделами и пологими склонами (НЦС равен 149244.38 тыс. руб. на 1 км линии); II – пересеченная местность со склонами, изрезанными балками и оврагами, или частично заболоченная местность (НЦС – 177032.38 тыс. руб. на 1 км линии); III – сильно пересеченная местность с извилистыми водоразделами и значительными уклонами или сильно заболоченная местность (НЦС – 224623.33 тыс. руб. на 1 км линии); IV – горная местность с узкими ущельями и большой крутизной склонов или глубокие болота (НЦС – 296714.30 тыс. руб. на 1 км линии).

Методикой предусмотрено приведение показателей эталонного региона (в данном случае за него принята Московская область) к ценам и климатическим условиям каждого субъекта Российской Федерации с использованием специально разработанных для этого коэффициентов. Для некоторых крупных регионов с контрастными природными условиями (например, Красноярского края, Иркутской, Сахалинской областей и др.) предлагаются несколько коэффициентов для различных территорий, учитывающих изменение стоимости строительства, связанные с климатическими условиями.

<sup>3</sup> 11 марта 2021 г. № 126 / пр. “Об утверждении укрупненных нормативов цены строительства”.

Дополнительные удорожающие факторы применимы к районам Крайнего Севера и местностям, приравненным к ним. В данном случае используются повышающие коэффициенты для расчета НЦС, учитывающие выполнение мероприятий по снегоборьбе.

Таким образом, формула для расчета стоимости полной замены железнодорожных путей в случае реализации потенциальной угрозы природного характера ( $Cost$ ) для каждого рассматриваемого муниципального образования ( $j$ ) выглядит следующим образом:

$$Cost_j = S_i \times L_j \times Ktr_i \times Kreg_i, \quad (1)$$

где  $S_i$  — НЦС  $i$ -го региона, выбранный с учетом вышеизложенных допущений, для базового района в ценах 2021 г. (показатели НЦС приведены без учета налога на добавленную стоимость);  $L_j$  — длина железнодорожных линий в границах  $j$ -го муниципального образования;

$Ktr_i$  — коэффициент перехода от цен базового района к уровню цен  $i$ -го региона;

$Kreg_i$  — коэффициент, учитывающий регионально-климатические условия осуществления строительства в  $i$ -ом регионе (его части) по отношению к базовому району.

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

В качестве примера приведем расчет стоимости полной замены железнодорожных путей в случае реализации потенциальной угрозы природного характера для Гороховецкого района Владимирской области.

$S_i$  — Гороховецкий район Владимирской области относится к категории местности по рельефу I, соответственно, НЦС равен 149244.38 тыс. руб. на 1 км железнодорожной линии.

$L_j$  — эксплуатационная длина железнодорожных линий в Гороховецком районе составляет 38.3 км.

$Ktr_i$  — коэффициент перехода от стоимостных показателей базового района (Московская область) к уровню цен Владимирской области составляет 0.89.

$Kreg_i$  — коэффициент, учитывающий изменение стоимости строительства на территории Владимирской области, связанный с регионально-климатическими условиями, составляет 1.

Таким образом, путем подставления всех параметров в формулу (1), получаем:

149244.38 тыс. руб.  $\times$  38.325 км  $\times$  0.89  $\times$  1 = 5090 млн руб., без НДС в ценах 2021 г.

Таким же образом осуществлены вычисления для остальных 1111 муниципальных образований Российской Федерации (города федерального значения ввиду их малой площади по отноше-

нию к остальным регионам и единства природно-климатических условий в пределах их границ, рассматривались в целом, без деления на муниципалитеты).

Анализ происшествий на объектах железнодорожного транспорта Российской Федерации за период 2012–2021 гг., вызванных воздействием неблагоприятных и опасных природных процессов и явлений (по данным ежегодных Государственных докладов “О состоянии защиты населения и территорий Российской Федерации от чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера” и открытых информационных источников), позволил выявить ключевые пространственные закономерности распределения ущерба.

В региональном разрезе наибольшая доля ущербов и случаев чрезвычайных ситуаций природного характера предсказуемо приходится на самые сложные с точки зрения климатических и орографических условий и в то же время наиболее грузонапряженные участки сети: Северо-Кавказскую, Дальневосточную и Южно-Уральскую железные дороги. Как показало проведенное исследование, для этих территорий вместе с тем характерны и наивысшие удельные издержки на восстановление и замену железнодорожных линий. Крупнейшая катастрофа за указанный период произошла вследствие обширного паводка в Краснодарском крае в 2012 г. и повлекла за собой разрушение мостовых сооружений, пути и земельного полотна на участке Крымская — Новороссийск Северо-Кавказской железной дороги. Общий ущерб для железнодорожной инфраструктуры оценен в 1.4 млрд руб. в ценах 2012 г. Комплекс опасных гидрометеорологических явлений также стал причиной второго по размеру ущерба (0.7 млрд руб. в ценах 2017 г.) происшествия за рассматриваемый период, произошедшего в Приморском крае в 2017 г. на участке Дальневосточной железной дороги недалеко от Владивостока.

Переходя непосредственно к обсуждению результатов оценки предельной стоимости замены железнодорожных линий в случае реализации угроз природного характера в разрезе муниципальных образований регионов Российской Федерации (рис. 1), необходимо отметить, что совокупная расчетная величина данного показателя для страны в целом составила порядка 11 трлн руб. в ценах 2021 г., или примерно 8.4% от ВВП России за этот год. Полученное значение в целом соотносится с данными официальной статистики. Согласно данным Росстата, *полная учетная стоимость* всех сооружений транспорта в России составляет 41 трлн руб., из них порядка 11 трлн — сооружения сухопутного и трубопроводного транспорта (на 2022 г.), т.е. включают в себя и железные дороги. В годовом отчете РЖД за 2021 г.

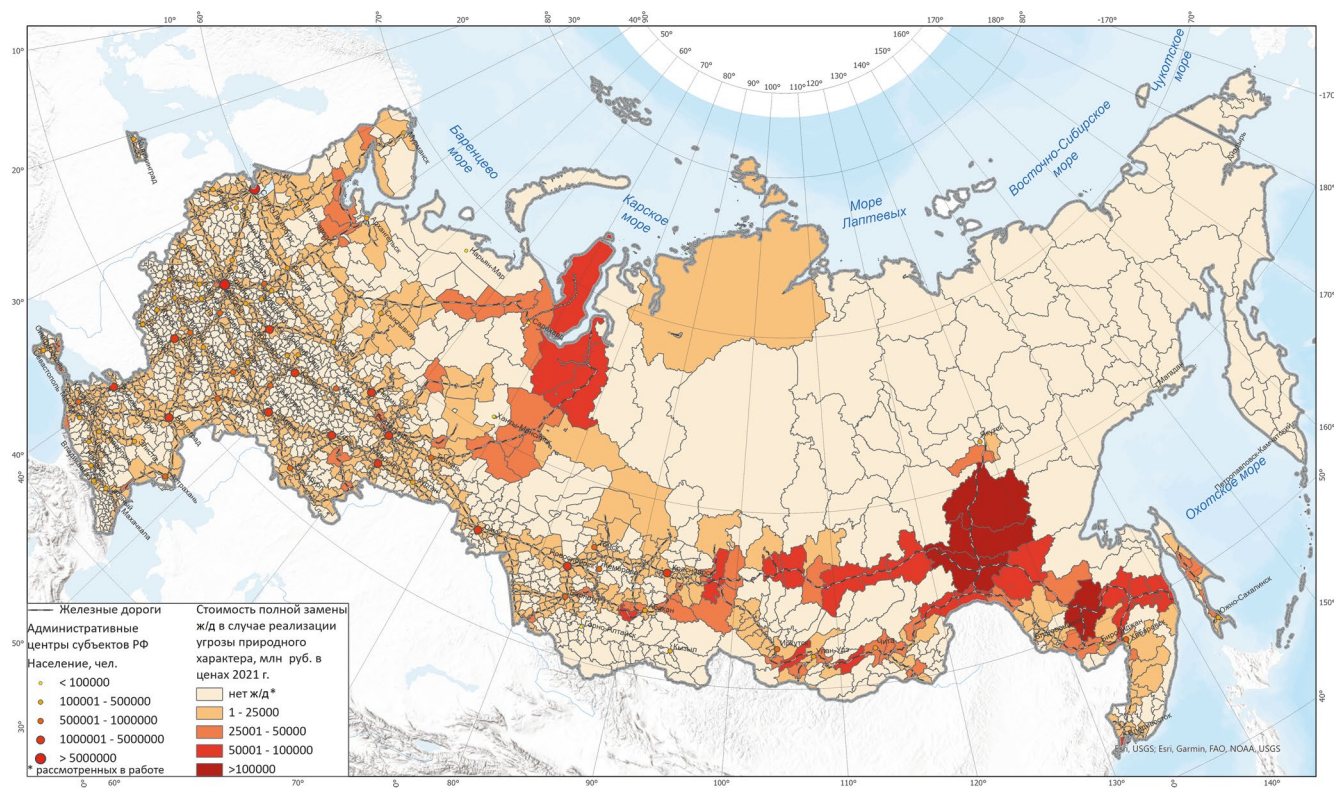


Рис. 1. Предельная стоимость замены железнодорожных линий в случае реализации угроз природного характера в разрезе муниципальных образований Российской Федерации (в ценах 2021 г.).

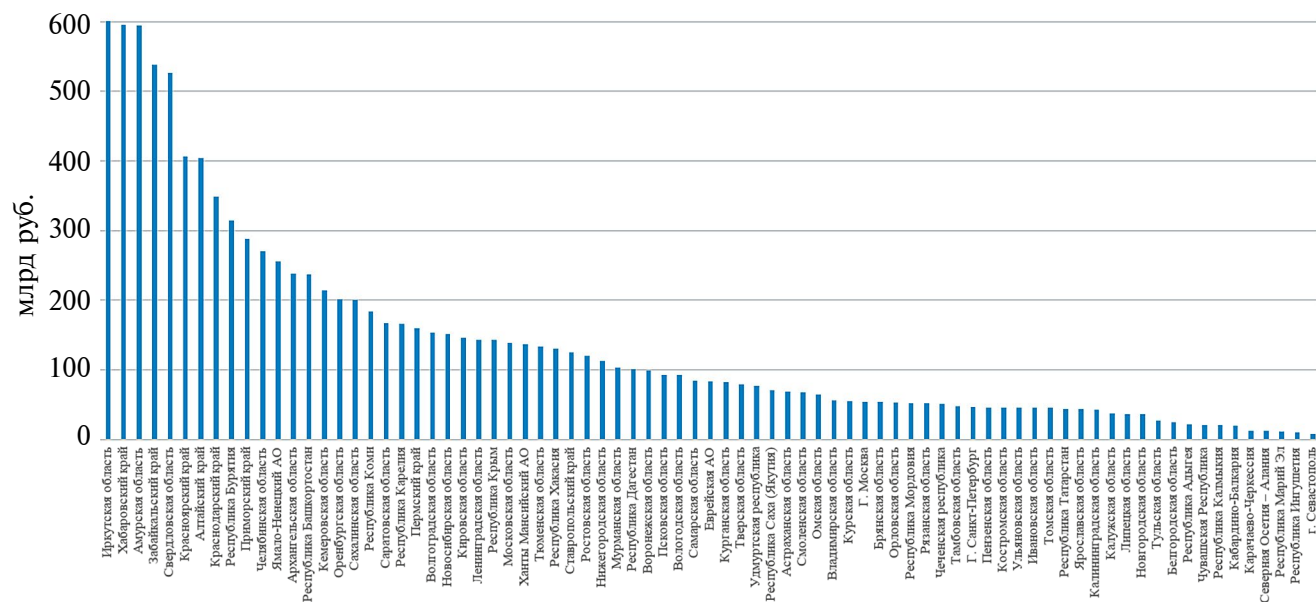


Рис. 2. Предельная стоимость замены железнодорожных линий в случае реализации угроз природного характера в разрезе регионов Российской Федерации (в ценах 2021 г.).

указывается балансовая стоимость основных фондов, имеющих отношение к железнодорожным путям, в размере порядка 4 трлн рублей. Таким образом, оцененная восстановительная стоимость (стоимость замещающего нового строительства)

данной части основных фондов в современных ценах представляется вполне корректной.

В региональном разрезе (рис. 2) на первые по величине предельного размера вероятного ущерба 10 регионов приходится

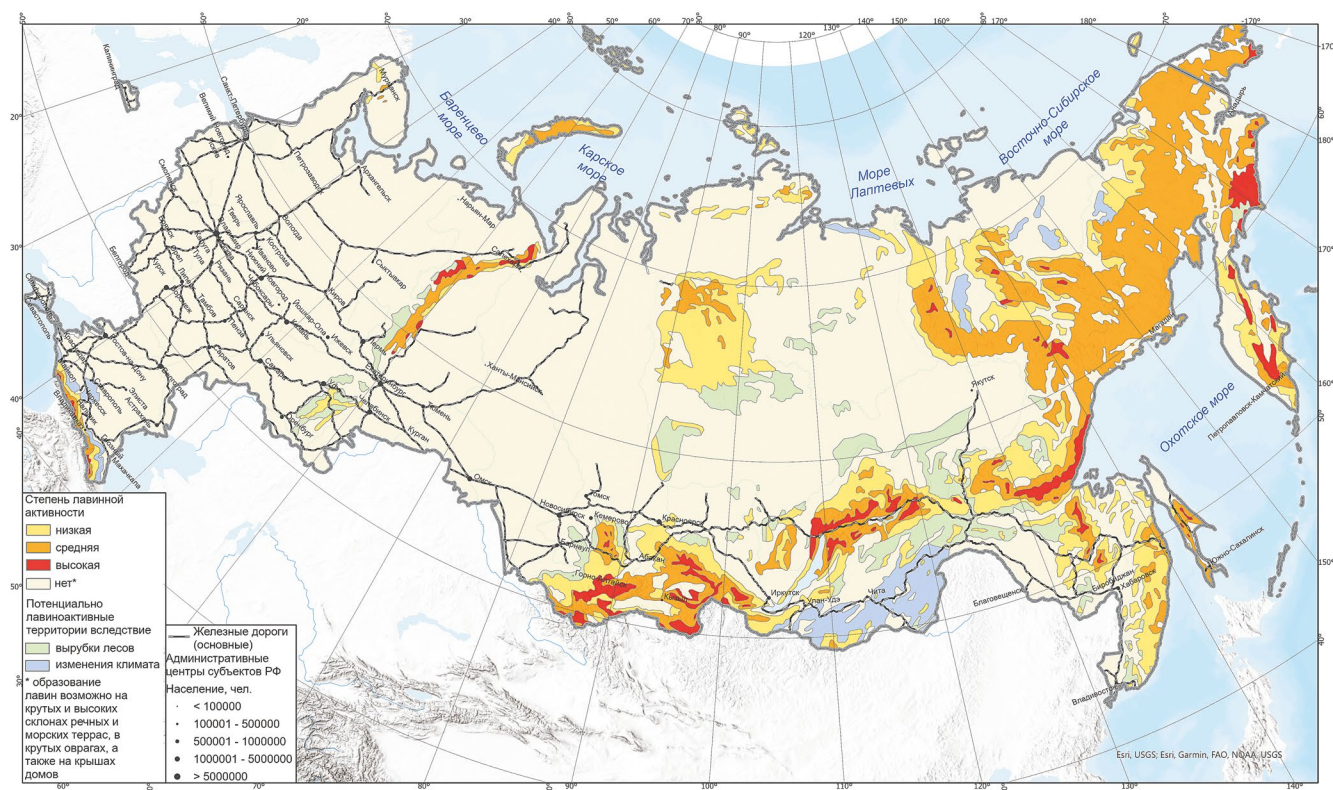


Рис. 3. Железные дороги Российской Федерации в ареалах лавинной активности.

свыше 40% всей восстановительной стоимости: Иркутская область — 602.4 млрд руб., Хабаровский край — 595.5 млрд руб., Амурская область — 594.4 млрд руб., Забайкальский край — 538.2 млрд руб., Свердловская область — 526.8 млрд руб., Красноярский край — 406.8 млрд руб., Алтайский край — 404.3 млрд руб., Краснодарский край — 348.5 млрд руб., Республика Бурятия — 314.1 млрд руб., Приморский край — 287.7 млрд руб. Следовательно, именно эти регионы требуют особого внимания в плане мер по защите основных фондов железнодорожного транспорта. Вместе с тем большинство из этих субъектов являются и одними из наиболее подверженных рассматриваемому кругу природных опасностей (наводнениям, опасным склоновым процессам, а регионы, находящиеся в пределах криолитозоны, — еще и геокриологическим опасностям)<sup>4</sup>. Кроме того, некоторые из них принадлежат к сейсмически опасным районам, что требует еще более детальных оценок вероятного ущерба для зданий и сооружений железнодорожного транспорта.

Особое положение среди регионов занимают города федерального значения за счет высокой густоты железнодорожных линий. Например,

для Москвы оценочное значение рассматриваемого показателя превышает 27 млрд руб.

К муниципальным образованиям, обладающим наивысшей расчетной восстановительной стоимостью железнодорожных линий, относятся крупные по площади и протяженности с запада на восток дальневосточные районы прохождения Байкало-Амурской и Транссибирской магистралей: Тындинский район Амурской области (197.5 млрд руб.), Верхнебуреинский район Хабаровского края (180 млрд руб.) и др. В Западной Сибири выделяются Ямальский, Надымский и Пуровский районы Ямало-Ненецкого автономного округа (свыше 55 млрд руб. каждый), на Урале — узловой Карталинский район Челябинской области (41 млрд руб.). В европейской части России значения стоимости замены железнодорожных линий на муниципальном уровне существенно ниже, одними из наибольших значений отличаются Плещеевский и Онежский районы Архангельской области (36 и 34 млрд руб. соответственно).

В качестве примера того, как полученные численные результаты могут быть интегрированы с данными о вышеупомянутых природных опасностях в целях исследования риска, приведем опасность снежных лавин. Рассмотрение

<sup>4</sup> См.: Национальный атлас России. Т. 2. «Природа. Экология». <https://xn--80aaaa1bhncclcc1cl5c4ep.xn--p1ai/cd2/territory.html> (дата обращения 03.03.2023).

**Таблица 1.** Предельный вероятный экономический ущерб для железнодорожных линий от воздействия снежных лавин на территории Российской Федерации

| Регион                          | 1      | 2         | 3  |
|---------------------------------|--------|-----------|----|
| Алтайский край                  | 75.4   | 20344     | 5  |
| Амурская область                | 981.9  | 231707    | 34 |
| Еврейская автономная область    | 32.8   | 7431      | 6  |
| Забайкальский край              | 1431.0 | 407091    | 60 |
| Иркутская область               | 370.2  | 105321    | 15 |
| Кемеровская область             | 161.8  | 45095     | 10 |
| Краснодарский край              | 169.6  | 42908     | 8  |
| Красноярский край               | 246.8  | 53682     | 12 |
| Мурманская область              | 16.8   | 5286      | 2  |
| Оренбургская область            | 23.5   | 4382      | 2  |
| Пермский край                   | 67.6   | 13371     | 4  |
| Приморский край                 | 190.0  | 57496     | 12 |
| Республика Башкортостан         | 266.0  | 67885     | 18 |
| Республика Бурятия              | 597.9  | 168300    | 49 |
| Республика Коми                 | 13.2   | 1950      | 1  |
| Республика Крым                 | 33.9   | 9848      | 5  |
| Республика Саха (Якутия)        | 496.6  | 167045    | 52 |
| Республика Хакасия              | 318.6  | 88783     | 48 |
| Сахалинская область             | 233.8  | 66570     | 28 |
| Свердловская область            | 41.5   | 11433     | 1  |
| Ставропольский край             | 179.6  | 44316     | 19 |
| Хабаровский край                | 581.9  | 186662    | 27 |
| Челябинская область             | 136.2  | 35556     | 8  |
| Ямало-Ненецкий автономный округ | 62.0   | 10002     | 13 |
| Всего:                          | 6728.5 | 1852463.6 | 8  |

*Примечания.* 1 — длина лавиноопасного участка, км; 2 — восстановительная стоимость железнодорожных линий на лавиноопасном участке, в ценах 2021 г., млн руб.; 3 — доля подверженных лавинной опасности железнодорожных линий от общей их протяженности в регионе, %.

лавинной активности является весьма значимой для исследования, в том числе потому, что она имеет тренд к территориальной экспансии вследствие антропогенного воздействия и климатических изменений (Сократов и др., 2013). Для этих целей из Атласа снежно-ледовых ресурсов мира (Атлас ..., 1997) были взяты ареалы, характеризующиеся разной степенью лавинной активности, и на них была нанесена сеть железнодорожных линий (рис. 3). По вышеизложенной методике была измерена протяженность, а затем восстановительная стоимость железнодорожных линий, проходящих по территориям лавинной активности: высокой, средней и низкой, а также в ареалах потенциально лавиноактивных территорий вследствие вырубки лесов и климатических изменений. Обобщенные результаты представлены в табл. 1.

Согласно проведенным расчетам, совокупная предельная восстановительная стоимость железнодорожных путей на лавиноопасных территориях составила 1.85 трлн руб., из них на участках с высокой степенью лавинной опас-

ности — 33.1 млрд руб., средней — 368.9 млрд руб., низкой — 524.8 млрд руб., потенциальной — 925.6 млрд руб. Это в целом подтверждает, что при строительстве железнодорожной инфраструктуры стараются избегать наиболее опасных участков. В региональном разрезе восстановительная стоимость железнодорожных линий в ареалах лавинной активности максимальна для пяти регионов, на которые в совокупности приходится 63% от общестранового значения. К ним относятся Забайкальский край (407 млрд руб., или 22% от суммарного по всем регионам России показателя), Амурская область (232 млрд руб., или 13%), Хабаровский край (187 млрд руб., или 10%), Республики Бурятия и Саха (Якутия) (по 168 млрд руб., или 9% каждая).

Наиболее уязвимые участки железнодорожных линий, расположенные в зонах с наивысшей степенью лавинной опасности, представлены в табл. 2. Они локализованы в Республике Бурятия, Иркутской области, Забайкальском крае, Ямало-Ненецком автономном округе

**Таблица 2.** Предельный вероятный экономический ущерб для железнодорожных линий в ареалах с высокой степенью лавинной активности

| Муниципальное образование | Регион                          | 1     | 2    | 3  | 4      |
|---------------------------|---------------------------------|-------|------|----|--------|
| Казачинско-Ленский район  | Иркутская область               | 144.4 | 28.2 | 20 | 8024.9 |
| Каларский район           | Забайкальский край              | 276.4 | 27.5 | 10 | 7821.7 |
| Нерюнгринский улус        | Республика Саха (Якутия)        | 312.0 | 18.1 | 6  | 6102.8 |
| Приуральский район        | Ямало-Ненецкий автономный округ | 71.9  | 19.2 | 27 | 3099.7 |
| Северо-Байкальский район  | Республика Бурятия              | 292.7 | 28.8 | 10 | 8098.3 |

*Примечания.* 1 — общая протяженность железнодорожных линий в пределах муниципального образования, км; 2 — длина участка железнодорожных линий в зоне высокой лавинной активности, км; 3 — доля участка железнодорожных линий в зоне высокой лавинной активности от общей протяженности железнодорожных линий в пределах муниципального образования, %; 4 — предельная восстановительная стоимость железнодорожных линий на лавиноопасном участке, млн руб.

и в Республике Саха (Якутии). Именно для этих участков первостепенно необходимы дальнейшие детальные более крупномасштабные исследования, которые потребуют взаимодействия с профильными специалистами физико-географами, как, например, было реализовано в исследовании (Бабурин и др., 2019) на примере другого опасного склонового процесса — селевых потоков. Интегрирование полученных в рамках данного исследования результатов в прогнозы лавинной опасности с учетом анализа качества проведения противолавинной защиты позволит осуществить непосредственно оценку лавинного риска для железнодорожных линий, перейти от предельных величин потенциального ущерба к конкретным величинам, зависящим от различных сценариев.

Другим направлением применения полученных данных может быть прогнозирование геокриологических рисков для железнодорожной инфраструктуры путем взаимодействия со специалистами геокриологами, например (Гребенец, Исаков, 2016). Приведем пример оценки предельной величины вероятного ущерба для железнодорожных линий от деградации многолетней мерзлоты вследствие климатических изменений, интегрировав полученные данные в прогноз геокриологических рисков до 2050 г., выполненный в предыдущей работе одного из авторов в составе коллектива для всей совокупности зданий и сооружений криолитозоны Российской Арктики. Подробное описание методики прогноза и полученных результатов представлено в (Melnikov et al., 2022).

В результате проведенных расчетов было установлено, что при умеренном сценарии потепления максимальный ущерб для железнодорожных линий может составить: в Воркуте — 32 млрд руб., Лабитнанги — 3.8 млрд руб., Норильске — 13 млрд руб., Ямальском районе — 61.8 млрд руб., Приуральском районе — 41.5 млрд руб., Пуровском районе — 84.3 млрд руб., Надымском районе — 55.9 млрд руб., Ноябрьске — 3.1 млрд руб., Новом Уренгое — 5.4 млрд руб.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В данном исследовании впервые для территории Российской Федерации с высокой степенью детализации представлена оценка восстановительной стоимости железнодорожных линий в разрезе муниципальных образований. Полученные данные могут быть использованы в исследованиях природного и техногенного риска: путем их сопоставления с параметрами, характеризующими воздействие опасных природных процессов и явлений можно прогнозировать риски и вероятные ущербы для объектов железнодорожной инфраструктуры на разных территориях. В свою очередь, на основании этих прогнозов могут быть сформированы планы мероприятий по снижению уровня риска. Это открывает широкие возможности в сфере проведения междисциплинарных исследований на стыке физической и социально-экономической географии, повышения интеграции двух ключевых направлений географической науки.

Основное преимущество предлагаемой методики экономической оценки природных рисков для железнодорожной инфраструктуры заключается в общестрановом охвате, получении сопоставимых результатов для всех регионов страны. Благодаря этому появляется возможность выявления межрегиональной и внутрирегиональной дифференциации в уровне вероятных ущербов, определения конкретных территорий (муниципальных образований), требующих более детальных крупномасштабных исследований.

При этом заявленный масштаб исследования наряду с вышеизложенными преимуществами накладывает ряд существенных ограничений. Прежде всего они связаны с тем, что разработанная методика позволяет оценить лишь минимальные возможные ущербы (без учета всего многообразия объектов железнодорожной инфраструктуры, которые могут быть подвергнуты воздействию природной опасности). Кроме того, масштаб исследования предполагал использование усред-

ненных и унифицированных параметров, без учета некоторых значимых характеристик, влияющих на стоимость строительства (электрификации линий, грунтовых условий и пр.).

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Атлас снежно-ледовых ресурсов мира / под ред. В.М. Котлякова. М.: Институт географии РАН, НПП “Картография”, 1997. Т. I. 392 с.
- Бабурин В.Л., Бадина С.В. Оценка социально-экономического потенциала территории, подверженной неблагоприятным и опасным природным явлениям // Вестн. Моск. ун-та. Серия 5: География. 2015. № 5. С. 9–16.
- Бабурин В.Л., Бадина С.В., Деркачева А.А., Сократов С.А., Хисматуллин Т.И., Шнытарков А.Л. Оценка селевого риска в экономических показателях на примере Сибирского федерального округа // Вестн. Моск. ун-та. Серия 5: География. 2019. № 4. С. 3–14.
- Гребенец В.И., Исаков В.А. Деформации автомобильных и железных дорог на участке Норильск – Талнах и методы борьбы с ними // Криосфера Земли. 2016. Т. 20. № 2. С. 69–77.
- Мягков С.М. География природного риска. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1995. 222 с.
- Осипов В.И. Природные катастрофы на рубеже XXI века // Вестн. РАН. 2001. Т. 71. № 4. С. 291–302.
- Порфирьев Б.Н. Природа и экономика: риски взаимодействия. (Эколого-экономические очерки) / под ред. В.В. Ивантера. М.: Анкил, 2011. 352 с.
- Порфирьев Б.Н. Экономика природных катастроф // Мир новой экономики. 2015. № 4. С. 21–40.
- Порфирьев Б.Н., Елисеев Д.О. Интегральный подход к экономической оценке последствий деградации многолетней мерзлоты для устойчивости основных фондов в российской Арктике // Проблемы прогнозирования. 2023. № 2 (197). С. 30–43.
- Природные опасности России. Природные опасности и общество / под ред. В.А. Владимирова, Ю.Л. Воробьева, В.И. Осипова. М.: КРУК, 2002. 245 с.
- Сократов С.А., Селиверстов Ю.Г., Шнытарков А.Л., Колтерманн К.П. Антропогенное влияние на лавинную и селевую активность // Лёд и Снег. 2013. № 53 (2). С. 121–128.
- Anisimov O., Reneva S. Permafrost and changing climate: the Russian perspective // AMBIO: A J. of the Human Environment. 2006. Vol. 35 (4). P. 169–175.
- Badina S.V. Estimation of the value of buildings and structures in the context of permafrost degradation: The case of the Russian Arctic // Polar Science. 2021. Vol. 29. Art. 100730.
- Badina S.V., Pankratov A.A. The Value of Buildings and Structures for Permafrost Damage Prediction: The Case of Eastern Russian Arctic // Geography, Environment, Sustainability. 2021. Vol. 14 (4). P. 83–92.
- Critical infrastructure: Reliability and vulnerability / A.T. Murray, T. Grubestic T. (Eds.). Heidelberg: Springer Science & Business Media, 2007. 311 p.
- Melnikov V.P., Osipov V.I., Brouchkov A.V., Badina S.V., et al. Climate warming and permafrost thaw in the Russian Arctic: potential economic impacts on public infrastructure by 2050 // Natural Hazards. 2022. Vol. 112. P. 231–251.
- Rasmussen T.N. Macroeconomic Implications of Natural Disasters in the Caribbean. International Monetary Fund (IMF) // Working Paper/04/224. Washington: International Monetary Fund, 2004. 24 p. <https://www.elibrary.imf.org/view/journals/001/2004/224/article-A001-en.xml> (дата обращения 03.03.2023).

## Approaches to the Assessment of Economic Damage from Natural Hazards for the Railway Infrastructure (the Case of the Russian Federation)

S. V. Badina<sup>a, b, \*</sup>, A. S. Turchaninova<sup>a, \*\*</sup>, V. L. Baburin<sup>a, \*\*\*</sup>, and A. M. Minchenkova<sup>c, \*\*\*\*</sup>

<sup>a</sup>Lomonosov Moscow State University, Faculty of Geography, Moscow, Russia

<sup>b</sup>Plekhanov Russian University of Economics, Moscow, Russia

<sup>c</sup>Bernardo O'Higgins University, Santiago, Chile

\*e-mail: bad412@yandex.ru

\*\*e-mail: alla\_wave87@mail.ru

\*\*\*e-mail: vbaburin@yandex.ru

\*\*\*\*e-mail: aleksandra.minchenko@ubo.cl

The article proposes a methodological approach to the quantitative assessment of direct economic damage from natural hazards for an element of the critical infrastructure of the Russian Federation – railways. The methodology is based on a normative approach to assessing the replacement cost of railway lines, which varies depending on the cost of construction in specific orographic and climatic conditions of a given region. The results are presented in the context of municipalities, which makes it easier to take into account intra-regional differences and to compare them with natural hazard parameters (e.g. floods, dangerous slopes, geocryological processes, etc.). The calculations showed that the marginal cost of replacing railway lines in the event of natural hazards for Russia is about RUB 11 trillion in 2021 prices, or about 8.4% of Russia's GDP for that year. In a regional context, the first 10 regions account for more than 40% of the total replacement cost, which indicates that these regions require special attention in terms of measures to protect railway assets. These include Irkutsk oblast (RUB 602.4 bln), Khabarovsk krai (595.5), Amur oblast (594.4), Zabaykalsky

krai (538.2), Sverdlovsk oblast (526.8), Krasnoyarsk krai (406.8), Altai krai (404.3), Krasnodar krai (348.5), Republic of Buryatia (314.1), Primorsky krai (287.7). The data obtained can be used in studies of natural and man-made risks: by comparing them with the parameters characterising the impact of natural hazards, it is possible to predict the risk and probable damage to railway infrastructure facilities in the given territories. Avalanches and permafrost degradation are used to demonstrate the potential of such assessments.

**Keywords:** natural risks, economic damage, railways, fixed assets, critical infrastructure

## REFERENCES

- Anisimov O., Reneva S. Permafrost and changing climate: the Russian perspective. *AMBIO*, 2006, vol. 35, no. 4, pp. 169–175.  
[https://doi.org/10.1579/0044-7447\(2006\)35\[169:PACCTR\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1579/0044-7447(2006)35[169:PACCTR]2.0.CO;2)
- Atlas snezhno-ledovykh resursov mira. Tom I* [Atlas of Snow and Ice Resources of the World. Vol. I]. Kotlyakov V.M., Ed. Moscow: Institut geografii RAN, NPP “Kartografiya”, 1997. 392 p.
- Baburin V.L., Badina S.V. Evaluation of the socio-economic potential of natural hazard-subject territories. *Vestn. Mosk. Univ., Ser. 5: Geogr.*, 2015, no. 5, pp. 9–16. (In Russ.).
- Baburin V.L., Badina S.V., Derkacheva A.A., Sokratov S.A., Khismatullin T.I., Shnyparkov A.L. Economic assessment of debris flow risk on the example of the Siberian Federal District. *Vestn. Mosk. Univ., Ser. 5: Geogr.*, 2019, no. 4, pp. 3–14. (In Russ.).
- Badina S.V. Estimation of the value of buildings and structures in the context of permafrost degradation: The case of the Russian Arctic. *Polar Sci.*, 2021, vol. 29, art. 100730.  
<https://doi.org/10.1016/j.polar.2021.100730>
- Badina S.V., Pankratov A.A. The Value of Buildings and Structures for Permafrost Damage Prediction: The Case of Eastern Russian Arctic. *Geogr. Environ. Sustain.*, 2021, vol. 14, no. 4, pp. 83–92.  
<https://doi.org/10.24057/2071-9388-2021-058>
- Critical infrastructure: Reliability and vulnerability*. Murray A.T., Grubestic T., Eds. Heidelberg: Springer Science & Business Media, 2007. 311 p.
- Grebenets V.I., Isakov V.A. Deformations of roads and railways in the Norilsk-Talnakh section and methods of dealing with them. *Cryosph. Earth*, 2016, vol. 20, no. 2, pp. 69–77. (In Russ.).
- Melnikov V.P., Osipov V.I., Brouchkov A.V., Badina S.V., Zheleznyak M.N., Sadurtdinov M.R., Ostrakov N.A., Drozdov D.S., Osokin A.B., Sergeev D.O., Dubrovin V.A., Fedorov R.Yu. Climate warming and permafrost thaw in the Russian Arctic: potential economic impacts on public infrastructure by 2050. *Nat. Hazards*, 2022, no. 112, pp. 231–251.  
<https://doi.org/10.1007/s11069-021-05179-6>
- Myagkov S.M. *Geografiya prirodnogo riska* [Geography of Natural Risk]. Moscow: Izd-vo Mosk. Univ., 1995. 222 p.
- Osipov V.I. Natural disasters at the turn of the XXI century. *Vestn. Ross. Akad. Nauk*, 2001, vol. 71, no. 4, pp. 291–302. (In Russ.).
- Porfir'iev B.N. *Priroda i ekonomika: riski vzaimodeistviya (Ekologo-ekonomicheskie ocherki)* [Nature and Economy: Risks of Interaction. (Ecological and Economic Essays)]. Ivanter V.V., Ed. Moscow: Ankil Publ., 2011. 352 p.
- Porfir'iev B.N. Economics of natural disasters. *Mir Novoi Econ.*, 2015, no. 4, pp. 21–40. (In Russ.).
- Porfir'iev B.N., Eliseev D.O. Integral approach to the economic assessment of the consequences of permafrost degradation for the sustainability of fixed assets in the Russian Arctic. *Probl. Prognoz.*, 2023, vol. 197, no. 2, pp. 30–43. (In Russ.).  
<https://doi.org/10.47711/0868-6351-197-30-43>
- Prirodnye opasnosti Rossii. Prirodnye opasnosti i obshchestvo* [Natural Hazards in Russia. Natural Hazards and Society]. Vladimirova V.A., Vorob'ev Yu.L., Osipov V.I., Eds. Moscow: KRUK Publ., 2002. 245 p.
- Rasmussen T.N. *Macroeconomic Implications of Natural Disasters in the Caribbean*. Working Paper/04/224. Washington: International Monetary Fund, 2004. 24 p.
- Sokratov S.A., Seliverstov Yu.G., Shnyparkov A.L., Koltermann K.P. Anthropogenic influence on avalanche and mudflow activity. *Led Sneg*, 2013, vol. 53, no. 2, pp. 121–128. (In Russ.).  
<https://doi.org/10.15356/2076-6734-2013-2-121-128>