

УДК 625.7/.8 (571.1)

*ЕФИМЕНКО СЕРГЕЙ ВЛАДИМИРОВИЧ, канд. техн. наук, доцент,
svefimenko_80@mail.ru*

*Томский государственный архитектурно-строительный университет,
634003, г. Томск, пл. Соляная, 2*

УЧЁТ ТЕРРИТОРИАЛЬНОЙ ОДНОРОДНОСТИ ГЕОГРАФИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ*

В статье рассмотрена методология учёта особенностей природно-климатических условий при проектировании транспортных сооружений. Выделены факторы, определяющие формирование водно-теплового режима грунтов земляного полотна, и показаны особенности создания информационной базы данных для моделирования геокомплексов. Обоснован комплекс расчётных значений характеристик грунтов, дифференцированный по однородным, с позиции географических признаков, территориям в административных образованиях Западно-Сибирского региона.

Ключевые слова: метод; дорожно-климатическое районирование; геокомплексы; водно-тепловой режим земляного полотна; дорожная одежда; проектирование.

SERGEY V. EFIMENKO, PhD, A/Professor,

svefimenko_80@mail.ru

*Tomsk State University of Architecture and Building,
2, Solyanaya Sq., 634003, Tomsk, Russia*

TERRITORIAL HOMOGENEITY OF GEOGRAPHIC COMPLEXES IN DESIGN OF AUTOMOBILE ROADS

The paper describes the methodology of accounting climatic conditions in transport facility design. Factors and creation of the database of geo-complex modeling are described for the formation of hydrologic and thermal conditions for subgrade soils. A set of theoretical values for soils is substantiated which is differentiated by homogeneous territories in the administrative institutions of the West Siberian region.

Keywords: method; climatic zone for road building; geocomplexes; water and thermal conditions; pavement; design.

Результаты ранее выполненных исследований [1–3] свидетельствуют, что качество проектирования и срок службы автомобильных дорог в значительной мере зависят от полноты учёта особенностей природно-климатических условий территорий дислокации объектов транспортного строительства. В настоящее время задачи учёта географических комплексов при проектировании и строительстве автомобильных дорог решают на основе дорожно-климатического районирования территорий.

* Работа поддержана грантом РФФИ (проект № 14-07-00673 А). Отдельные элементы работы выполнены по государственному контракту 47/295 от 24 сентября 2012 г. с Федеральным дорожным агентством.

За единицу дорожно-климатического районирования отечественные исследователи ещё в середине прошлого столетия приняли «зону». Под зоной понимают широкую полосу на земной поверхности, характеризующуюся определённым сочетанием тепла и влаги, которое обуславливает в её пределах развитие определённых и взаимосвязанных типов почв и растительности [4]. Отмеченные принципы лежат в основе карт-схем дорожно-климатического районирования в СНиП 2.05.02–85* и СП 34.13330.2012, регламентирующих нормы проектирования автомобильных дорог.

Отдавая должное российским учёным, предложившим метод и схему дорожно-климатического районирования территории России, следует отметить недостатки результатов существующего зонирования. Так, каждая дорожно-климатическая зона, особенно II, имеет огромную протяжённость с Запада на Восток и является единым географическим целым, но объединяет районы с различными климатическими условиями, в частности, с различными по температуре воздуха и продолжительности зимами. От этих условий зависят значения величин зимнего влагонакопления, характеристик прочности, деформируемости и морозного пучения грунтов земляного полотна, что определяет необходимость применения того или иного мероприятия, обеспечивающего прочность и устойчивость дорожной конструкции в целом. Недостаточная разработанность критериев однородности и целостности, выделяемых при районировании территорий, правил формирования информационной базы, разнородность приёмов сбора и обработки исходных данных тормозят эффективное использование существующих и предлагаемых подходов к районированию. Именно поэтому подобные исследования в регионах России в настоящее время носят локальный характер и касаются лишь отдельных административных образований [1–3]. Эти исследования отличает сложность исполнительской организации работ, значительные трудовые и финансовые затраты. Отмеченное свидетельствует об актуальности настоящей работы.

Целью настоящих исследований является разработка методологии дорожно-климатического районирования территорий методами математического моделирования с применением параметров геокомплексов, определяющих особенности протекания водно-теплого режима глинистых грунтов земляного полотна автомобильных дорог административных образований, для обеспечения требуемого уровня надёжности проектных решений.

Решение задач, связанных с районированием отдельных территорий, например, для целей, направленных на обеспечение качества проектирования автомобильных дорог, исследователи реализуют, как правило, путем применения опыта покомпонентного наложения картографических схем распространения геокомплексов зонального, а зонального, интразонального и регионального характера. Опыт разработки принципов дорожного районирования [5–7] показывает, что рациональный учет комплекса территориальных природно-климатических условий может базироваться на территориальном выделении границ дорожных районов в ранее показанной [5] таксономической схеме «зона – подзона – район – участок». Отметим, что таксон «участок» можно применять лишь в случае необходимости высокого уровня детализа-

ции при проектировании и строительстве уникальных сооружений, в условиях же массового строительства им пренебрегают.

Предлагаемая методологическая схема уточнения территориальной дислокации линий границ дорожно-климатических зон в системе «зона – подзона – район» включает несколько этапов исследований (рис. 1) [8, 9].

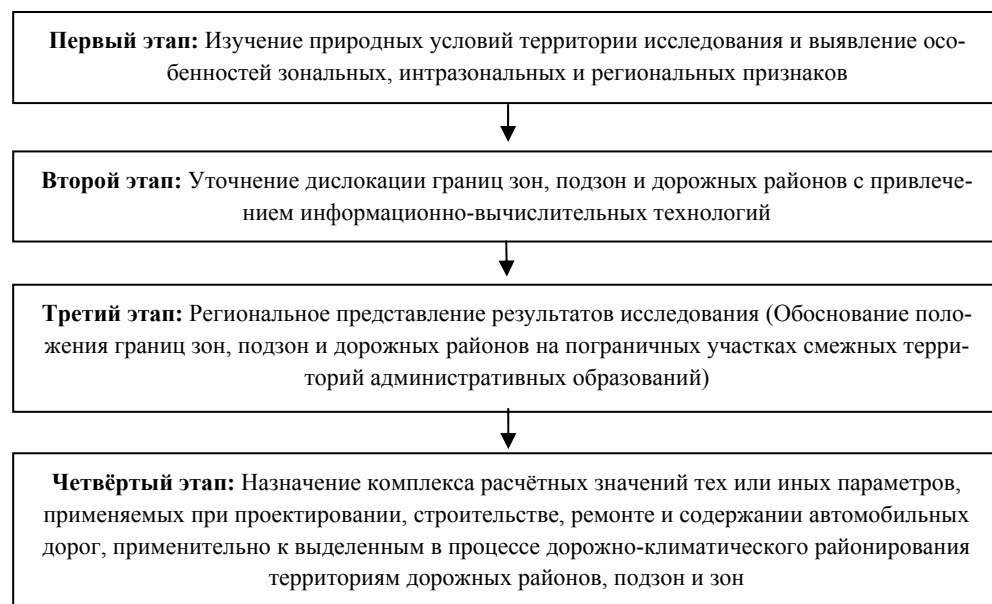


Рис. 1. Схема исследований по уточнению территориального распространения границ дорожно-климатических зон, подзон, дорожных районов

Существует множество близких по смыслу вариантов определения понятия «район», нашедших отражение в работах, прежде всего, географов [10]. Внутри территории дорожного района однотипные дорожные конструкции, прежде всего земляное полотно и дорожная одежда, должны характеризоваться примерно одинаковой прочностью и устойчивостью [3, 11]. Основным геокомплексным признаком подзоны является рельеф. По характеру рельефа, применительно к территории исследования, местность подразделяют на равнинную, холмистую и горную. Руководящим критерием при выделении подзоны можно считать морфоструктуру, существенно влияющую на проектирование, строительство и эксплуатацию автомобильных дорог [8]. Таксон «зона» объединяет соподчиненные понятия «район» и «подзона» в систему, характеризующую земную поверхность с однородным распределением тепла и влаги, определяющими развитие определенных и взаимосвязанных типов почв и растительности [3, 11].

Первый этап работы (рис. 1) направлен на формирование информационной базы для моделирования с применением показателей геокомплексов. Среди природных и климатических условий, подлежащих учёту при дорожно-климатическом районировании ранее [5, 8], было предложено учитывать три группы факторов, составляющих географический комплекс, – зональные, ин-

тразональные и региональные. К зональным признакам относят климатические условия, определяющие протекание водно-теплового режима грунтов земляного полотна автомобильных дорог региона (средние, максимальные и минимальные температуры воздуха, количество и сезонное распределение осадков, испарение с поверхности суши [11], высоту снежного покрова, глубину и скорость промерзания земляного полотна автомобильных дорог, влагообеспеченность территории). Интразональные природные факторы могут существенно изменяться в пределах территории каждой зоны. Среди интразональных можно выделить следующие признаки: рельеф местности, гранулометрический состав грунтов и др. Формирование информационной базы производят с привлечением справочной литературы, результатов полевых и лабораторных исследований, а также методов теоретического моделирования.

Комплекс полевых и лабораторных работ, выполненный на территории Западной Сибири, позволил установить состав и свойства глинистых грунтов рабочего слоя земляного полотна автомобильных дорог. На сети автомобильных дорог региона было оборудовано более 100 участков для визуального, инструментального наблюдения и отбора проб грунтов для последующих лабораторных исследований. В процессе работ из рабочего слоя земляного полотна было отобрано и испытано более 900 образцов грунта.

Привлечение методов математического моделирования при формировании информационной базы для дорожно-климатического районирования обусловлено, прежде всего, неравномерным распределением сети автомобильных дорог на территории Западной Сибири. Наибольшая её протяжённость наблюдается в районах с развитой промышленностью и сельским хозяйством [12]. Поэтому на этапе уточнения дислокации границ дорожно-климатических зон были применены зависимости, характеризующие изменение свойств грунтов, полученные на специально оборудованных постах на существующей сети автомобильных дорог [8].

Группа зональных геокомплексов в информационной базе сформирована с привлечением результатов прогнозирования параметров водно-теплового режима автомобильных дорог.

Так, для условий 2-го и 3-го типов местности по характеру и степени увлажнения были применены математические модели, предложенные ранее И.А. Золотарём [13]. Его модель была уточнена [14] в части учёта особенностей протекания водно-тепловых процессов в рабочем слое земляного полотна автомобильных дорог районов, характеризующихся избыточным увлажнением и глубоким сезонным промерзанием грунтов.

Многолетние исследования водно-теплового режима земляного полотна автомобильных дорог на территории Западной Сибири (II, III и IV дорожно-климатические зоны), выполненные специалистами ТГАСУ, позволили установить, что значительное влагонакопление происходит в грунтах земляного полотна в мягкие зимы за счёт увеличения количества мигрирующей влаги в промерзающих слоях грунта с уменьшением скорости продвижения зоны льдовыделения до 1,6 см/сут и менее [14]. Собственно, в этом и заключена особенность водно-теплового режима грунтов земляного полотна районов распространения сезонно промерзающих грунтов в Западной Сибири.

Сущность метода назначения величины расчётной весенней влажности глинистых грунтов рабочего слоя земляного полотна, предложенного профессором И.А. Золотарём, заключается в последовательном прогнозировании осенней, а затем весенней влажности с учётом: характерных для региона конструкции дорожной одежды; возвышения земляного полотна над уровнем грунтовых вод; величины критерия влагонакопления; толщины активного слоя в рабочей зоне земляного полотна.

Сопоставление результатов теоретического решения и натурных наблюдений оценено коэффициентом линейной корреляции (r), который является теоретически обоснованной мерой тесноты связи между двумя статистически связанными признаками. Его значения составили: для осенней относительной влажности ($W_{ос}$) $r = 0,86$, а для весенней относительной влажности ($W_{вес}$) $r = 0,89$, что свидетельствует о достаточно высокой сходимости результатов исследований, выполненных разными методами [12].

Для прогнозирования расчётной влажности грунтов рабочего слоя земляного полотна в условиях 1-го типа местности по характеру и степени увлажнения была принята зависимость, полученная по результатам исследований в юго-восточной части Западной Сибири [14] и нашедшая отражение в ОДН 218.1.052–2002 [15]:

$$W_P = \frac{\varepsilon \cdot K_C}{\lg \Theta_V - 1}, \quad (1)$$

где Θ_V – расчетная сумма отрицательных среднесуточных температур воздуха за период октябрь – декабрь, градусо-сутки; K_C – гидротермический коэффициент Селянинова, мм/градусо-сутки; ε – коэффициент размерности, равный 0,97.

На основе анализа сведений, собранных при формировании информационной базы, предлагаем выделить пять групп факторов, определяющих назначение территориального распространения линий границ дорожно-климатических зон, подзон и районов (рис. 2).

Второй и третий этапы работы по дорожно-климатическому районированию отдельных территорий направлены на уточнение географического распространения линий границ зон, подзон и дорожных районов и осуществление корректировки положения границ районов, подзон и зон для смежно расположенных территорий административных образований, которые можно реализовать либо за счёт покомпонентного наложения картографических схем распространения элементов геокомплексов, либо с привлечением математических приёмов обработки характеристик, включённых в информационную базу. В связи с тем, что особенности алгоритмов расчётов по этим этапам подробно приведены в работах [8, 9], перейдём к четвёртому этапу работы.

Промежуточным результатом работ, выполненных по приведённой выше методической схеме, является карта-схема распространения границ дорожно-климатических зон территории Западной Сибири, включающая в себя 14 административных образований (Республики Алтай и Хакасия, Алтайский и Красноярский края, Кемеровская, Курганская, Новосибирская, Омская, Свердловская, Томская, Тюменская, Челябинская области, Ханты-Мансийский и Ямало-Ненецкий автономные округа). Территории зон, в пре-

делах установленных границ, разделены на подзоны по типам рельефа и на однородные по природно-климатическим условиям дорожные районы с детальной характеристикой основных геокомплексов. Всего для территории Западной Сибири рекомендовано четыре дорожно-климатические зоны (I, II, III и IV), три подзоны (Р – равнинная, Х – холмистая, Г – горная) и 112 дорожных районов [8].



Рис. 2. Факторы, оказывающие влияние на назначение территориального распространения линий границ дорожно-климатических зон, подзон и районов

Так, на территории Алтайского края выделено три дорожно-климатические зоны (II, III и IV), три подзоны (равнинная, холмистая и горная) и 10 дорожных районов (от 1 до 5 в зависимости от зоны и подзоны) (рис. 3).

Четвёртый этап работы направлен на назначение комплекса расчётных значений параметров прочности и деформируемости глинистых грунтов

земляного полотна, используемых при проектировании дорожных одежд нежесткого типа, применительно к выделенным в процессе дорожно-климатического районирования территориям.



Рис. 3. Карта дорожно-климатического районирования территории Алтайского края: П, III, IV – дорожно-климатические зоны; Р, Х, Г – подзона по типу рельефа (равнинный, холмистый, горный); 1–5 – номера дорожных районов

Как было отмечено выше, комплекс полевых и лабораторных исследований позволил установить состав и свойства грунтов рабочего слоя земляного полотна автомобильных дорог региона исследований. Рабочий слой земляного полотна автомобильных дорог региона исследований составляют в основном глинистые грунты, а именно пылеватые супеси и суглинки.

В связи с тем, что на территории исследования было отобрано и испытано значительное количество образцов глинистых грунтов из рабочего слоя земляного полотна, возникла необходимость оценки возможности объединения результатов исследований однотипных видов грунтов в один статистический ряд. Для этого была выполнена статистическая обработка экспериментальных данных [12].

Вследствие объединения рядов результатов наблюдений были установлены функциональные зависимости $E_{гр}$, $\varphi_{гр}$ и $C_{гр} = f(W_{от})$ для супесей пылеватых, суглинков лёгких пылеватых и суглинков тяжёлых пылеватых. Эти зависимости лучше всего аппроксимируются экспоненциальной кривой (рис. 4).

В частности, модуль упругости суглинка ($E_{гр}$) пылеватого может быть представлен в виде формулы

$$E_{гр} = 10,92 + 3771,47 \cdot e^{-9,76W_{от}}, \quad (2)$$

где $W_{от}$ – относительная влажность грунта рабочего слоя земляного полотна, д. ед.

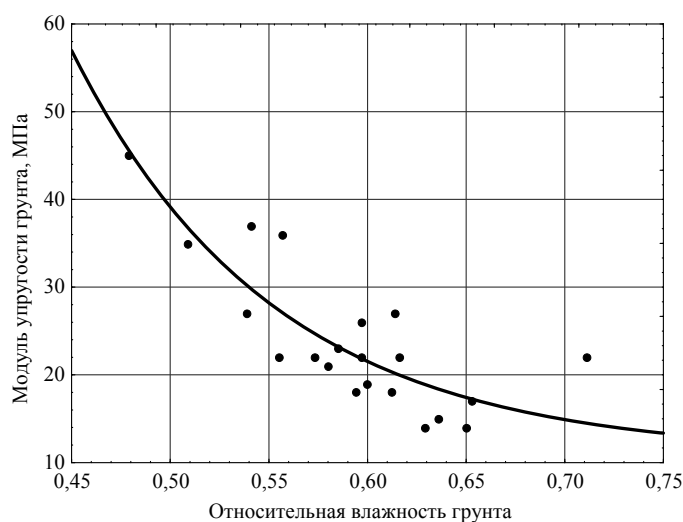


Рис. 4. График зависимости модуля упругости в глинистом грунте (суглинок пылеватый) земляного полотна от его относительной влажности

Теснота связи между исследуемыми параметрами составила $r = 0,92$, что дает основание для использования формулы (2) при определении расчетных значений модуля упругости для суглинистых грунтов рабочего слоя земляного полотна на территории Западной Сибири.

Полученные графические и функциональные зависимости позволили рекомендовать расчётные значения характеристик влажности, прочности и деформируемости глинистых грунтов для 112 дорожных районов, выделенных на территории Западной Сибири, в виде таблиц. Например, в нижеприведённой таблице даны значения расчётных характеристик грунтов для дорожного района III.Г.1 Алтайского края.

**Значения расчётных характеристик глинистого грунта (суглинок)
для дорожного района III.Г.1,
выделенного на территории Алтайского края**

Коэффициент влагопроводности	Уровень грунтовых вод	Расчетные значения показателей грунта			
		Весенняя относительная влажность	Модуль упругости	Угол внутреннего трения	Удельное сцепление
1	0,5	0,79	19,8	14,14	0,049
	1,0	0,74	21,5	15,93	0,052
	1,5	0,65	25,2	19,37	0,059
	2,0	0,60	28,8	22,10	0,064
	2,5	0,58	31,1	23,55	0,067

Окончание таблицы

Коэффициент вла- гопроводности	Уровень грунто- вых вод	Расчетные значения показателей грунта			
		Весенняя относительная влажность	Модуль упру- гости	Угол внутрен- него трения	Удельное сцепление
1,5	0,5	0,82	19,2	13,51	0,048
	1,0	0,76	20,8	15,26	0,051
	1,5	0,67	24,4	18,70	0,058
	2,0	0,59	30,0	22,87	0,066
	2,5	0,59	30,0	22,87	0,066
2	0,5	0,84	18,8	12,98	0,047
	1,0	0,77	20,3	14,71	0,050
	1,5	0,68	23,8	18,11	0,056
	2,0	0,63	27,0	20,79	0,062
	2,5	0,60	29,1	22,29	0,065
2,5	0,5	0,86	18,4	12,53	0,046
	1,0	0,79	19,9	14,22	0,049
	1,5	0,69	23,2	17,60	0,055
	2,0	0,63	26,4	20,30	0,061
	2,5	0,61	28,4	21,79	0,064
3	0,5	0,88	18,1	12,15	0,045
	1,0	0,81	19,5	13,82	0,048
	1,5	0,70	22,8	17,19	0,055
	2,0	0,64	25,8	19,87	0,060
	2,5	0,62	27,8	21,37	0,063

Научная новизна предлагаемого подхода заключается в установлении связей и закономерностей, необходимых при оценке однородности территорий по комплексу природных и климатических условий для обеспечения качества проектирования транспортных сооружений и их экономичной эксплуатации.

Отметим, что результаты экспериментальных исследований по определению характеристик прочности и деформируемости глинистых грунтов в Западной Сибири свидетельствуют о различиях (иногда существенных) с ранее нормированными значениями, нашедшими отражение, в ОДН 218.046–01 [16]. Так, фактические значения расчётной влажности глинистых грунтов выше нормированных на 7–10 % (в зависимости от типа местности по характеру и степени увлажнения). Рекомендованные ОДН 218.046–01 значения угла внутреннего трения ($\phi_{гр}$) завышены на 17–32 % по сравнению с результатами фактических исследований. Значения удельного сцепления ($C_{гр}$), нашедшие отражение в ОДН 218.046–01 для супесей, завышены на 14–28 %, а для суглинков занижены на 13–24 %. Нормированные значения модуля упругости ($E_{гр}$) глинистых грунтов по сравнению с результатами фактических наблюдений завышены на 25–30 % [12].

Основываясь на результатах многолетних исследований влияния природно-климатических условий на состояние сети автомобильных дорог Западно-Сибирского региона, можем предположить, что предлагаемый методологический подход к уточнению границ дорожно-климатических зон на

обширной территории России может способствовать обеспечению требований к качеству проектирования и строительства транспортных сооружений и, соответственно, снижению эксплуатационных затрат в течение их жизненного цикла.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Ефименко, С.В.* К уточнению схемы дорожно-климатического районирования территорий на примере районов Западной Сибири / С.В. Ефименко, В.Н. Ефименко, А.О. Афиногенов // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. – 2014. – № 1(42) – С. 125–134.
2. *Опыт районирования* территории для целей дорожной отрасли/ В.А. Бец, С.Е. Гречищев, В.О. Гречищева, В.Д. Казарновский, Е.С. Пшеничникова, Н.В. Табаков // Наука и техника в дорожной отрасли. – 2003. – № 3. – С. 20–23.
3. *Ярмолинский, А.И.* Комплексный подход к дорожному районированию территории Сахалинской области / А.И. Ярмолинский, А.П. Пичугов, И.Н. Пугачев. – URL : http://pnu.edu.ru/media/filer_public/2012/11/16/statja8.pdf/, (дата обращения : 11 марта 2015).
4. *Application of information systems in road-climatic zoning* / V.N. Efimenko, S.V. Efimenko, A.V. Sukhorukov et al // IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering 71 (2015) 012049. doi:10.1088/1757-899X/71/1/012049.
5. *Автомобильные дороги* (Совершенствование методов проектирования и строительства) / В.М. Сиденко, О.Т. Батраков, М.И. Волков [и др.]. – Киев : Будивельник, 1973. – 278 с.
6. *Zapata C.E., Houston W.N.*, 2008. «Calibration and Validation of the Enhanced Integrated Climatic Model for Pavement Design» /NCHRP report 602/ Washington, 2008. – 63 p.
7. *Russam, K. and J. D. Coleman* (1969), 1961. “The Effect of Climatic Factors on Subgrade Moisture Conditions,” *Geotechnique*, Vol. XI, No. 1, March 1961. – P. 22–28.
8. *Ефименко, С.В.* Дорожное районирование территории Западной Сибири : монография / С.В. Ефименко, М.В. Бадина. – Томск : Изд-во Том. гос. архит.-строит. ун-та, 2014. – 244 с.
9. *Ефименко, С.В.* Методические аспекты регионального уточнения простираения линий границ дорожно-климатических зон/ С.В. Ефименко, Д.Н. Черепанов // Вестник МГСУ. – 2013. – № 6. – С. 214–222.
10. *Смирягин, П.В.* Узловые вопросы районирования / П.В. Смирягин // Изв. РАН. Сер. геогр. – 2005. – № 1 – С. 5–16.
11. *Efimenko, S.V.* Using Mathematical Models to Provide Reliability of Transport Facilities/ S.V. Efimenko, A.V. Sukhorukov et al // Advanced Materials Research Vol. 1085 (2015), Selected, peer reviewed papers from the XI International Conference on Prospects of Fundamental Sciences Development (PFSD-2014), April 22-25, 2014, Tomsk, Russia P. 507–512. doi:10.4028/www.scientific.net/AMR.1085.507.
12. *Ефименко, С.В.* Обоснование расчетных значений характеристик глинистых грунтов для проектирования дорожных одежд автомобильных дорог (на примере Западной Сибири): автореф. дис. ... канд. техн. наук. – Омск, 2006. – 23 с.
13. *Водно-тепловой режим* земляного полотна и дорожных одежд / под. ред. И.А. Золотаря, Н.А. Пузакова, В.М. Сиденко. – М. : Транспорт, 1971. – 416 с.
14. *Ефименко, В.Н.* Водно-тепловой режим земляного полотна автомобильных дорог при глубоком промерзании грунтов (На примере Юго-Востока Западной Сибири): дис. ... канд. техн. наук. – Москва, 1978. – 216 с.
15. *Оценка прочности* нежестких дорожных одежд: ОДН 218.1.052–2002 / Гос. служба дор. хоз-ва М-ва транспорта Российской Федерации. – М., 2003. – 80 с.
16. *Проектирование нежестких дорожных одежд*: ОДН 218.046–01 / Государственная служба дорожного хозяйства Министерства транспорта Российской Федерации. – М. : Информавтодор, 2001. – 145 с.

REFERENCES

1. Efimenko, S.V., Efimenko V.N., Afinogenov A.O. K utochneniyu skhemy dorozhno-klimaticheskogo raionirovaniya territorii na primere raionov Zapadnoi Sibiri [The outline of road building climatic zoning in Western Siberia]. *Vestnik TSUAB*, 2014. No. 1. Pp. 125–134. (rus)
2. Bets V.A., Grechishchev S.E., Grechishcheva V.O., Kazarnovskii V.D., Pshenichnikova E.S., Tabakov N.V. Opyt raionirovaniya territorii dlya tselei dorozhnoi otrasli [Experience in road zoning]. *Nauka i tekhnika v dorozhnoy otrasli*. 2003. No. 3. Pp. 20–23. (rus)
3. Yarmolinskii, A.I. Pichugov, A.P., Pugachev I.N. Kompleksnyi podkhod k dorozhnomu raionirovaniyu territorii Sakhalinskoi oblasti [Comprehensive approach to road division into districts of Sakhalin region territory]. Available at : [http://ad.khstu.ru/files/statja/\\$file/statja8.pdf](http://ad.khstu.ru/files/statja/$file/statja8.pdf) (rus)
4. Efimenko, V.N. Efimenko S.V., Sukhorukov A.V. et al. Application of information systems in road-climatic zoning. IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering. 2015. No. 71.
5. Sidenko V.M., Batrakov O.T., Volkov M.I., Kaluzhskij Ja.A., Kudrjavcev N.M., Mihovich S.I., Romanenko I.A., Fomin V.A., Gavrilov Je.V. Avtomobil'nye dorogi (Sovershenstvovanie metodov proektirovaniya i stroitel'stva) [Highways (Improvement of methods of designing and construction)]. Kiev : Budivel'nik, 1973. 278 p. (rus)
6. Zapata C.E., Houston W.N. Calibration and validation of the enhanced integrated climatic model for pavement design. NCHRP report 602. Washington, 2008. 63 p.
7. Russam K., Coleman J.D. The effect of climatic factors on subgrade moisture conditions, *Geotechnique*, 1961. V. 11. No. 1. Pp. 22–28.
8. Efimenko S.V., Badina M.V. Dorozhnoe raionirovanie territorii Zapadnoi Sibiri [Road zoning of the West Siberia territory]. Monograph. TSUAB Publ., 2014. 244 p. (rus)
9. Efimenko S.V., Tcherepanov D.N. Metodologicheskie aspekty regional'nogo utochneniya prostiraniya liniy granits dorozhno-klimaticheskikh zon [Peculiar methodological aspects of region-wide adjustment of border lines of climatic zones for road building purposes]. *Vestnik MGSU*. 2013. No. 6. Pp. 214–222. (rus)
10. Smiryagin P.V. Uzlavye voprosy raionirovaniya [Key issues of zoning]. Proceedings of the Russian Academy of Sciences. 2005. No. 1. Pp. 5–16. (rus)
11. Efimenko, S.V. Sukhorukov A.V. et al. Using mathematical models to provide reliability of transport facilities/ *Advanced Materials Research*. V. 1. 2015. P. 1085, Selected, peer reviewed papers from the XI International Conference on Prospects of Fundamental Sciences Development (PFSD-2014), 2014.P. 507–512.
12. Efimenko S.V. Obosnovanie raschetnykh znachenii kharakteristik glinistykh gruntov dlya proektirovaniya dorozhnykh odezhd avtomobil'nykh dorog (na primere Zapadnoi Sibiri): avtoref. dis. ... kand. tekhn. nauk [Substantiation of calculated values of characteristics of clay soils for design of road pavements. PhD abstract]. Omsk, 2006. 23 p. (rus)
13. Zolotar' I.A., Puzakov N.A., Sidenko V.M. Vodno-teplovoy rezhim zemlyanogo polotna i dorozhnykh odezhd [Water and thermal balance of road subgrades and pavements]. Moscow, Transport, 1971. 416 p. (rus)
14. Efimenko V.N. Vodno-teplovoy rezhim zemlyanogo polotna avtomobil'nykh dorog pri glubokom promerzanii gruntov (Na primere Yugo-Vostoka Zapadnoi Sibiri): dis. ... kand. tekhn. nauk [Water-heating mode of subgrades with deep soil freezing (on the example of South-East of Western Siberia). PhD thesis]. Moscow, 1978. 216 p. (rus)
15. Otsenka prochnosti nezhestkikh dorozhnykh odezhd: ODN 218.1.052–2002. Gos. sluzhba dor. khoz-va M-va transporta Rossiiskoi Federatsii [Assessment of the strength of non-rigid road pavements: ODN 218.1.052-2002. / State Public service of road economy of the Ministry of Transport of the Russian Federation. Moscow, 2003. 80p. (rus)
16. Proektirovanie nezhestkikh dorozhnykh odezhd: ODN 218.046–01. Gosudarstvennaya sluzhba dorozhnogo khozyaistva Ministerstva transporta Rossiiskoi Federatsii [Design of nonrigid road clothes. ODN 218.046-01. Public service of road economy of the Ministry of Transport of the Russian Federation]. Moscow : Informavtodor, 2001. 145 p. (rus)