

ПРОЕКТИРОВАНИЕ И СТРОИТЕЛЬСТВО ДОРОГ, МЕТРОПОЛИТЕНОВ, АЭРОДРОМОВ, МОСТОВ И ТРАНСПОРТНЫХ ТОННЕЛЕЙ

УДК 625.731.8

*ТЕЛТАЕВ БАГДАТ БУРХАНБАЙУЛЫ, докт. техн. наук, профессор,
bagdatbt@mail.ru*

*СУППЕС ЕЛЕНА АЛЕКСАНДРОВНА, инженер,
suppes08@mail.ru*

*Казахстанский дорожный научно-исследовательский институт,
050061, Казахстан, г. Алматы, ул. Нурпеисова, 2а*

РАЙОНИРОВАНИЕ ТЕРРИТОРИИ КАЗАХСТАНА ПО ГЛУБИНЕ ПРОМЕРЗАНИЯ АВТОМОБИЛЬНОЙ ДОРОГИ

Представлены результаты исследований промерзания автомобильных дорог Республики Казахстан. Приведены показатели холодного периода и глубины промерзания по регионам Казахстана. Выявлены корреляционные зависимости между глубиной промерзания и многолетней средней температурой, глубиной промерзания и количеством суток с отрицательной температурой. Предложена новая карта-схема глубины промерзания автомобильных дорог Казахстана. Показаны результаты сравнения глубины промерзания автомобильных дорог, определённых по действующей и вновь разработанной карте-схеме.

Ключевые слова: автомобильная дорога; глубина промерзания; карта; глубина промерзания грунтов; датчики температуры; корреляционные зависимости.

*BAGDAT B. TELTAYEV, DSc, Professor,
bagdatbt@mail.ru*

*ELENA A. SUPPES, Engineer,
suppes08@mail.ru*

*Kazakhstan Road Research Institute,
2a, Nurpeisov Str., 050061, Almaty, Kazakhstan*

ZONING OF KAZAKHSTAN TERRITORY BY THE ROAD FROST DEPTH

The paper presents the analysis of the road frost depth in Kazakhstan. The cold period indicators and the frost depth in Kazakhstan are given herein. Correlation dependences between the frost depth and average persistent temperature, frost depth and the number of days with negative temperature are shown. A new frost depth map of Kazakhstan roads is suggested in this paper, and a comparative analysis is conducted for the existing and suggested sketch maps of the road frost depth.

Keywords: highway; frost depth; map; temperature sensors, correlation dependences.

В решении вопросов обеспечения эксплуатационной надёжности автомобильных дорог большое значение имеет учёт особенностей природно-климатических условий районов проектирования. Именно этим можно объяснить значительное количество научных работ, посвящённых вопросам дорожного районирования тех или иных территорий [1, 2].

Разрушающее воздействие на конструктивные элементы автомобильной дороги оказывают не только механические силы от движущихся транспортных средств, но и в немалой степени природно-климатические факторы. Среди них особое значение имеет температура воздуха, материалов слоёв дорожных одежд и земляного полотна. В частности, при отрицательных значениях температуры в слоях дорожной одежды и земляного полотна имеющаяся влага переходит из одного (жидкого) в другое (твёрдое) агрегатное состояние, что сопровождается выделением скрытой теплоты льдообразования и изменением её объёма [3].

Поэтому при проектировании дорожных одежд наряду с расчётом по условию прочности предусматривают обоснование её общей толщины исходя из морозоустойчивости дорожной конструкции.

Важными характеристиками, определяющими интенсивность влагонакопления в грунтах, являются глубина и скорость промерзания земляного полотна.

В подпункте 4.21 ВСН 46–83 сказано, что расчётные значения глубины промерзания следует определять в соответствии с государственным стандартом и инструктивными указаниями с использованием многолетних данных наблюдений за измерением этого параметра в натурных условиях, сходных с условиями района строительства. Допускалось назначать расчётные глубины промерзания по данным региональных исследований. Также указано, что в случае отсутствия достоверных фактических данных о глубине промерзания её расчётная величина может быть принята по специальной карте (рис. 1).

Подрисовочная надпись в карте-схеме содержит указания о необходимости добавления поправки ΔZ к расчётной величине глубины промерзания $Z_{\text{ср}}$, определённой по этой карте (табл. 1).

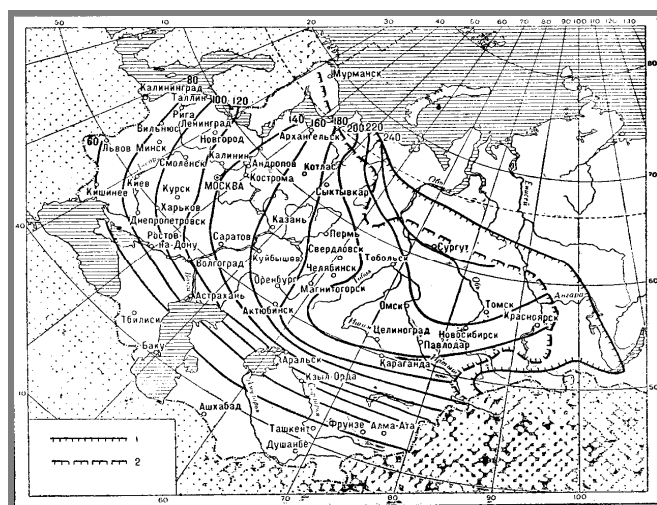


Рис. 1. Карта изолиний глубины промерзания Z_{cp} грунтов на территории СССР (ВСН 46-83, пп. 4.21)

Таблица 1

Поправка к расчётному значению глубины промерзания по ВСН 46-83

Глубина промерзания Z_{cp} , см	0,8	1,0	1,2	1,4	1,6	1,8	2,0	2,2	2,4
Поправка ΔZ , см	0,30	0,40	0,50	0,57	0,63	0,68	0,72	0,75	0,77

При этом в ВСН 46-83 ничего не сказано о причине введения поправки в расчётное значение глубины промерзания, определяемой по карте. Для наглядности по данным табл. 1 построен график изменения поправки ΔZ в зависимости от глубины промерзания Z_{cp} (рис. 2). Видим, что до 1,2 м величина поправки прямо пропорциональна глубине промерзания, а с дальнейшим увеличением глубины промерзания величина поправки уменьшается.

По ВСН 46-72 величина этой поправки одинакова для всех конструкций дорожных одежд, независимо от расчётной глубины промерзания, и равна 0,5 м.

На рис. 3 показана карта изолиний глубины промерзания грунтов на территории СССР и границ дорожно-климатических зон, приведённая ранее в Инструкции ВСН 46-72. Сравнение карт глубины промерзания грунтов на рис. 1 и 3 свидетельствует об их практической идентичности.

Необходимо отметить следующий важный факт. В подпункте 4.24 ВСН 46-72 сказано о том, что расчётные значения глубины промерзания грунтов определяют в соответствии с существующими инструктивными указаниями, и «при отсутствии достоверных данных о глубине промерзания за расчётную может быть принята глубина промерзания по карте с добавлением 0,5 м.

Эта поправка вводится в связи с более глубоким промерзанием в пределах проезжей части дороги с одеждой по сравнению с промерзанием на оголённой от снега поверхности земли (изолинии глубины промерзания по карте)».

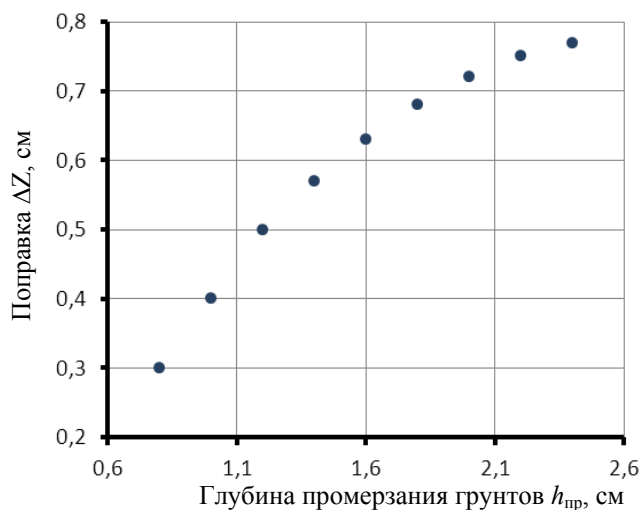


Рис. 2. Зависимость величины поправки ΔZ от глубины промерзания грунтов $h_{пр}$ по ВСН 46–83

Теперь становится ясным, что карта, нашедшая отражение в ВСН 46–72 и ВСН 46–83, предназначена для проектирования глубины промерзания автомобильной дороги с оголённой от снега поверхностью. Для её применения при проектировании автомобильных дорог введена поправка ΔZ .

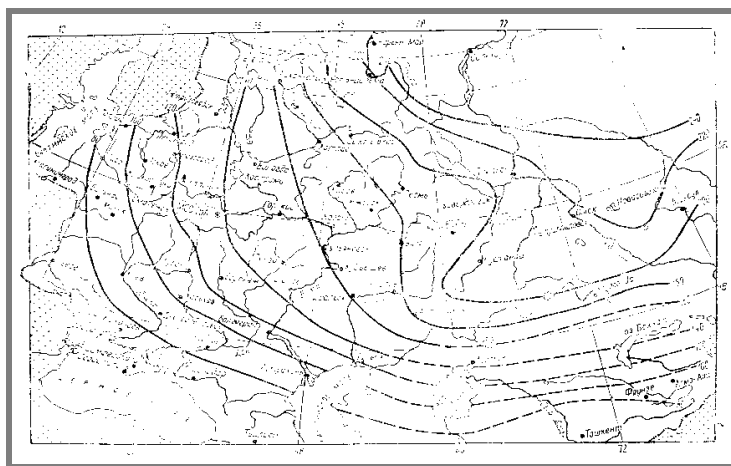


Рис. 3. Карта изолиний глубины промерзания грунтов на территории СССР

На рис. 4 и 5 представлены схематические карты глубины промерзания глинистых и суглинистых грунтов на территории СССР, нашедшие отражение в СНиП II-A.6–72 и СНиП 2.01.01–82 соответственно.

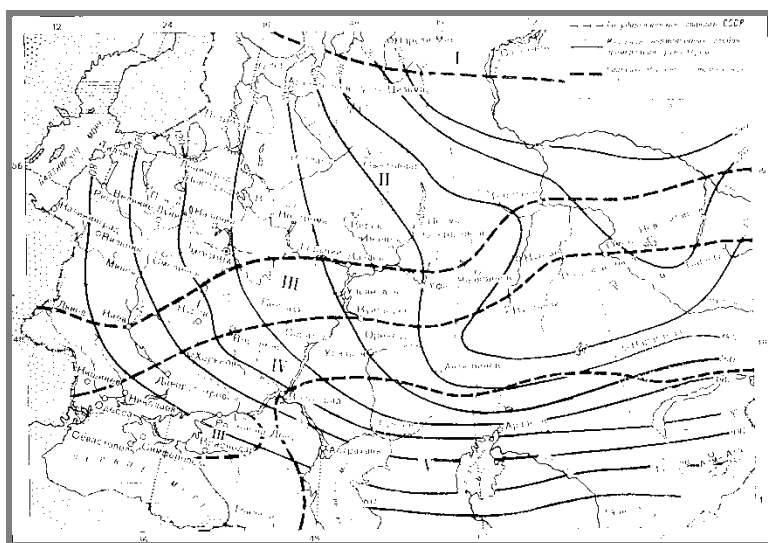


Рис. 4. Схематическая карта глубины промерзания глинистых и суглинистых грунтов на территории СССР (СНиП II-A.6-72, с. 14)

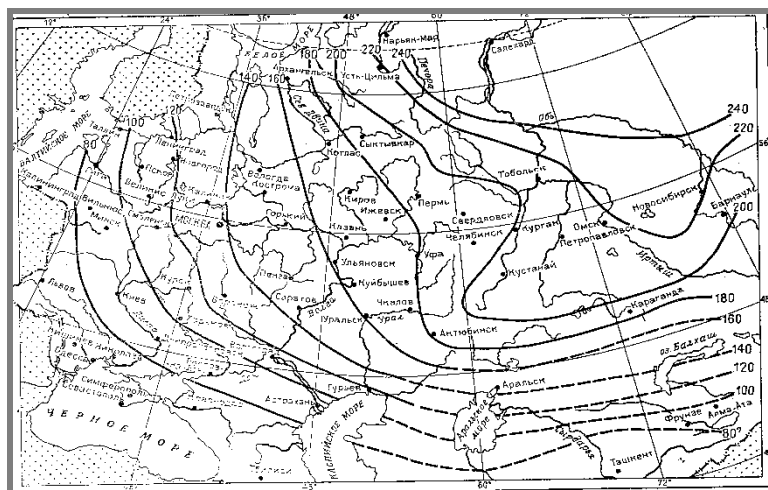


Рис. 5. Схематическая карта глубины промерзания глинистых и суглинистых грунтов на территории СССР (СНиП 2.01.01-82, с. 46).

Сравнение положения изолиний глубин промерзания на картах свидетельствует об отсутствии отличий. Сравнение их с картами, приведёнными на рис. 1 и 3, также показывает, что все приведённые нами карты-схемы практически одинаковы. Тем не менее, следует подчеркнуть, что:

1. Изолинии глубины промерзания на картах СНиП II-A.6-72 и СНиП 2.01.01-82 в пределах большей части территории Казахстана представлены пунктирными линиями, что, по нашему мнению, означает их приблизительность. Скорее всего из-за отсутствия надёжных сведений о глубине

промерзания грунтов на территории Казахстана изолинии были проведены путём экстраполяции данных, имеющих для европейской части СССР. В дорожных нормативных документах ВСН 46–72 и ВСН 46–83 на этих картах-схемах пунктирные линии были заменены сплошными.

2. Из подрисовочных надписей к картам-схемам, приведённым в СНиП II-A.6–72 и СНиП 2.01.01–82, становится ясным, что они предназначены только для глинистых грунтов. Кроме того, в подпункте 2.17 СНиП II-A.6–72 сказано, что глубины сезонного промерзания на схематической карте определены как средние из ежегодных максимальных под оголённой от снега поверхностью за срок не менее 10 лет. Для супесей, мелких и пылеватых песков рекомендовано пользоваться сведениями карты-схемы с коэффициентом 1,2. Рекомендации не распространяются на горные районы и районы с вечномёрзлыми грунтами.

На рис. 6 приведена карта с указанием зон промерзания грунтов основания земляного полотна железных дорог Казахстана [3]. В соответствии с этой картой вся территория республики разделена на три зоны: I зона – с глубиной промерзания грунта до 1 м, II зона – от 1 м до 2 м, III зона – свыше 2 м. Знакомство с содержанием раздела работы [4], посвящённого оценке глубины промерзания грунтового основания железных дорог, показало, что данные, использованные для разработки карты (рис. 6), не характеризуются достаточной надёжностью. Во-первых, при их составлении не проводилось экспериментальное исследование. Во-вторых, в их основе отсутствуют результаты теоретических расчётов.

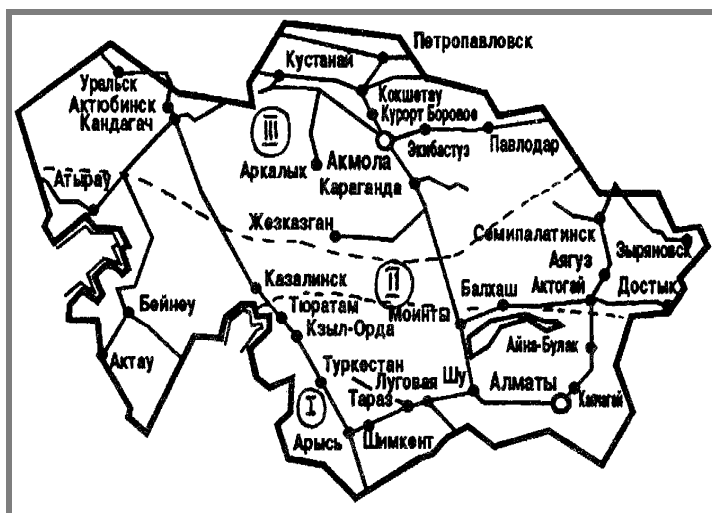


Рис. 6. Зоны промерзания грунтов основания земляного полотна железных дорог Казахстана:

I – зона промерзания грунта на глубину до 1 м; II – то же от 1 до 2 м; III – то же свыше 2 м (А.Ж. Омаров, А.К. Уразбеков)

Глубокие исследования водно-теплового режима земляного полотна и дорожных одежд на территории Казахстана в 60–80-х гг. прошлого столетия

были выполнены Н.П. Ивлевым и А.М. Каменевым [5–8]. Эти исследования, главным образом, были экспериментальными, влажность измерялась обычным способом закладки шурфа, отбора из него проб грунта с последующим использованием термостатного весового метода испытаний. Но, к сожалению, по возможностям того времени эти исследования были выполнены только в предгорных районах Юго-Восточного Казахстана (территория бывших Алма-Атинской, ныне Алматинской, и Талды-Курганской областей).

Анализ показателей природно-климатических условий в работе [7] выявил, что по данным метеостанций для района г. Алма-Аты глубина промерзания почвы в отдельные годы достигает 70–110 см при продолжительности зимнего периода 85–100 дн.

В работе [6] приведены подробные данные о выполнении экспериментов по изучению глубины промерзания грунтов. Отмечено, что основное внимание было уделено предгорным районам. Одновременно велись наблюдения в горной лесной зоне (на участках с земляным полотном из лёссов) и в зоне песчаных пустынь. Опытные участки на автомобильных дорогах республиканского и областного значения имели однотипную двухслойную конструкцию дорожной одежды, состоящую из водонепроницаемого покрытия (асфальтобетона, покрытия из гравийных или щебёночных материалов с поверхностной обработкой их жидким битумом) и основания из местных гравийных или щебёночных материалов.

Результаты исследований, выполненных в течение трёх зимних периодов (1966–1967, 1967–1968, 1968–1969) показали, что во всех зонах, от пустынной до лесной горной, как правило, глубина промерзания составляла более 100 см. Наименьшая глубина промерзания, равная 88 см, установлена в пустынно-степной предгорной зоне (зима 1967–1968 гг.). Наибольшая, равная 236 см, – в пустынной горизонтальной зоне зимой 1968–1969 гг. На основе сравнения всех полученных данных А.М. Каменев пришёл к заключению, что среднемноголетняя глубина промерзания дорожной конструкции для рассматриваемой территории превышает 100 см [6].

В начале 90-х гг. нами были начаты работы по исследованию температурного режима сначала асфальтобетонных покрытий, а затем и других конструктивных слоёв дорожных одежд и земляного полотна на территории Казахстана с использованием специально сконструированных транзисторных датчиков [9, 10] и термосопротивления [11]. В последующем один из способов измерения температурного режима дорожной одежды и земляного полотна автомобильных дорог был запатентован [12].

По результатам наблюдений с применением метода конечных элементов были разработаны математические модели, описывающие стационарное и нестационарное температурные поля в слоистых конструкциях дорожных одежд и земляного полотна [13–15].

В 2010 г. специалистами КаздорНИИ начат новый этап более углублённого изучения водно-теплового режима дорожных одежд и земляного полотна автомобильных дорог. В ноябре того года на автомагистрали Астана – Бурabay были установлены 3 комплекта специальных датчиков. Причём датчики каждого комплекта устанавливались на различных глубинах вертикальной

скважины, пробурённой в многослойной дорожной одежде и земляном полотне автомобильной дороги. Особенностью этих датчиков является то, что один температурный датчик, работающий по принципу изменения термического сопротивления, и один датчик влажности, работающий по принципу изменения диэлектрической проницаемости, вмонтированы в одну металлическую капсулу. Такая совмещённая конструкция датчиков позволяет получить информацию о температуре и влажности в интересующих нас точках дорожной конструкции одновременно. Результаты, полученные в первые годы изучения температурного и влажностного режима, были обсуждены и опубликованы в трудах современных престижных научных форумов по геотехнике [16–18].

Наблюдения за промерзанием дорожной одежды и земляного полотна на участках с асфальтобетонным и цементобетонным покрытием на автомобильной дороге Астана – Бурабай в течение трёх зимних периодов (2010–2011, 2011–2012, 2012–2013 гг.) позволили установить, что глубина промерзания дорожных конструкций в этот период составляла 230–255 см.

Аналогичные исследования были выполнены в зимний период 2013–2014 гг. на автомобильных дорогах Алматы – Бишкек (км 58+895) и Актюбинск – Атырау – Астрахань (км 598+050). При этом было установлено, что максимальная глубина промерзания на первой автомобильной дороге соответствовала 150, а на второй – 147 см.

Учитывая, что проектировщиков интересует расчётная глубина промерзания дорожной конструкции, нами были обобщены сведения, характеризующие промерзание земляного полотна автомобильных дорог за ряд лет, с зимами, отличающимися по сумме отрицательных температур воздуха от 555,8 (автомобильная дорога Алматы – Бишкек, 2004–2005 гг.) до 1844,1 градусо-суток (автомобильная дорога Павлодар – Шарбакты, 2004–2005 гг.). Анализ результатов наблюдений за промерзанием дорожных конструкций (рис. 7), а также сведений, полученных на сети гидрометеорологических станций (табл. 2), позволили выявить зависимости, характеризующие глубины промерзания автомобильной дороги от ряда параметров, соответствующих конкретному зимнему периоду (сумма отрицательных температур воздуха за зимний период, многолетняя средняя минимальная температура воздуха, количество суток с отрицательной температурой воздуха):

$$h_{\text{пр}} = 2,647 \cdot \theta^{0,6}, \quad (1)$$

где $h_{\text{пр}}$ – максимальная глубина промерзания автомобильной дороги, см; θ – сумма отрицательных температур за весь зимний период, град·сут,

$$h_{\text{пр}} = -8,45 \cdot T_{\text{min}} - 121,7. \quad (2)$$

Линейный коэффициент корреляции для зависимости (2) составляет 0,868, где T_{min} – многолетняя средняя минимальная температура воздуха, °С.

$$h_{\text{пр}} = 1,755 \cdot t_0 - 17,01. \quad (3)$$

Линейный коэффициент корреляции для зависимости (3) составляет 0,973, где t_θ – количество суток с отрицательной температурой, сут.

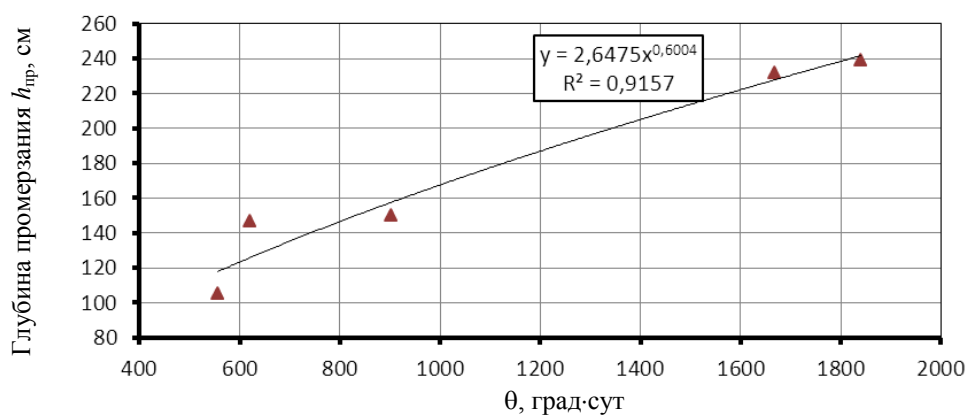


Рис. 7. Зависимость между суммой отрицательных температур и глубиной промерзания дорожной конструкции

Таблица 2

Характеристики зимнего периода и глубина промерзания

Автомобильная дорога	Период промерзания, годы	Количество суток с отрицательной температурой, сут	Сумма отрицательных температур θ , град·сут	Максимальная глубина промерзания, см
Алматы – Бишкек	2004–2005	71	555,8	105
	2013–2014	93	903,3	150
Актобе – Атырау – Астрахань	2013–2014	84	620	147
Астана – Бурабай	2010–2011	133	1669,2	232
Павлодар – Шарбақты	2004–2005	144	1844,1	239

По результатам полевых исследований и с учётом сведений, полученных на метеостанциях республики (табл. 3), специалистами КаздорНИИ была разработана карта изолиний глубины промерзания дорожных конструкций, представленная на рис. 8.

Судя по карте-схеме (рис. 8), в южной части территории республики изолинии имеют субмеридиональные очертания. На юге и юго-западе они криволинейны и полузамкнуты. Аналогичный характер распределения изолиний имеет место в центральной и северо-восточной частях страны.

Периоды измерения, характеристики холодного периода и значения измеренных глубин промерзания для ряда дорог в Казахстане приведены в табл. 3.

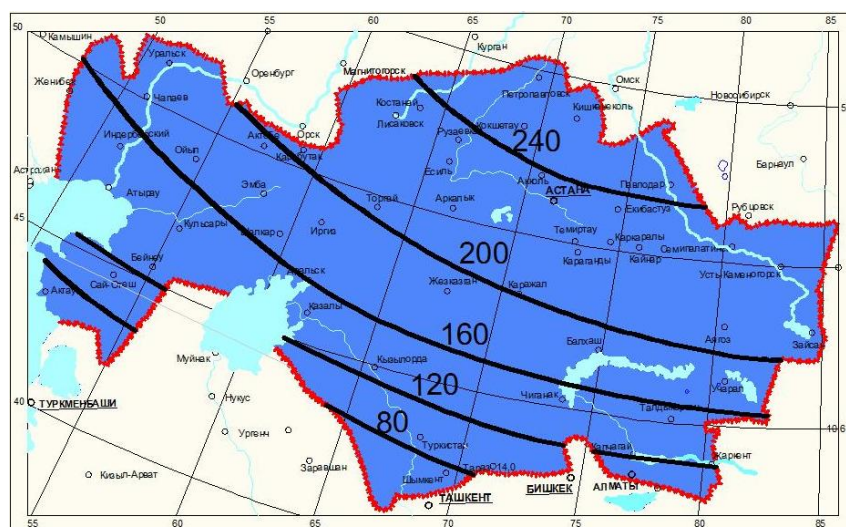


Рис. 8. Карта-схема районирования территории Казахстана по глубине промерзания дорожных конструкций $h_{пр}$, см

Корреляционная связь между суммой отрицательных температур за зимний период и глубиной максимального промерзания автомобильной дороги, построенная с использованием данных табл. 3, представлена на рис. 7.

При составлении карты-схемы изолиний глубины промерзания руководствовались зависимостью, представленной в графическом виде на рис. 8, и в виде функции (1), коэффициент корреляции ($R = 0,915$).

В табл. 3 отражены результаты сравнения значений глубины промерзания дорожных конструкций по ранее составленной карте-схеме (СН РК 3.03-19–2006) и карте-схеме, представленной на рис. 8.

Таблица 3

Глубина промерзания в разных географических точках Казахстана

№ п/п	Географическая точка	Глубина промерзания, см		Разница, см
		по карте 7.2а СН РК 3.03-19–2006	по новой карте	
1	Актау	67,5	67,2	–0,3
2	Актобе	187,2	200,6	13,4
3	Алматы	111,7	101,2	–10,5
4	Астана	206,9	222,1	15,2
5	Атырау	134,7	131,7	–3,0
6	Жезказган	189,2	201,3	12,1
7	Караганда	202,0	213,0	11,0

Окончание табл. 3

№ п/п	Географическая точка	Глубина промерзания, см		Разница, см
		по карте 7.2а СН РК 3.03-19–2006	по новой карте	
8	Кокшетау	206,6	242,8	36,2
9	Костанай	204,9	226,3	21,4
10	Кызылорда	131,7	127,1	–4,6
11	Павлодар	211,7	244,2	32,5
12	Петропавловск	208,1	241,1	33,0
13	Семипалатинск	201,4	228,3	26,9
14	Талдыкорган	149,1	142,7	–6,4
15	Уральск	187,5	181,8	–5,7
16	Оскемен	201,2	231,8	30,6

Из сравнений следует, что действующая карта-схема, показанная в инструкции СН РК 3.03-19–2006, в северной части республики занижает сведения о промерзании дорожных конструкций. В южной части территории Казахстана, напротив – завышает. Эта разница максимальна для Петропавловска и Кокшетау и составляет 33 и 36,2 % соответственно. В южной и западной частях разница анализируемых результатов достигает 11 %.

Представленные результаты районирования территории Республики Казахстан свидетельствуют о необходимости продолжения исследований особенностей природно-климатических условий при проектировании прочных и надёжных автомобильных дорог.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Zapata, C.T.* Calibration and validation of the enhanced integrated climatic model for pavement design / C.T. Zapata and W.N. Houston. – Washington, D.C. : Transportation Research Board, 2008. – 62 p.
2. *К обоснованию территориального распространения границы II–III дорожно-климатических зон в Западно-Сибирском регионе* / В.Н. Ефименко, С.В. Ефименко, А.В. Сухорук, Т.А. Кожухарь // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. – 2014. – № 5. – С. 133–143.
3. *Водно-тепловой режим земляного полотна и дорожных одежд* / под ред. И.А. Золотаря, Н.А. Пузакова, В.М. Сиденко. – М. : Транспорт, 1971. – 416 с.
4. *Омаров, А.Ж.* Обеспечение работоспособности земляного полотна железнодорожного пути / А.Ж. Омаров, А.К. Уразбеков. – Алматы : АЛИИТ, 1995. – 146 с.
5. *Ивлев, Н.П.* Обоснование определения норм доувлажнения грунта при возведении земляного полотна в условиях Казахстана / Н.П. Ивлев // Труды СоюздорНИИ. Вып. 18. Сооружения земляного полотна в сложных природных условиях. – М., 1967. – С. 187–195.

6. Каменев, А.М. Исследование водно-теплового режима дорожных конструкций в предгорных районах Юго-Восточного Казахстана / А.М. Каменев // Труды СоюздорНИИ. Вып. 43. Проектирование и сооружение земляного полотна дорог в специфических природных условиях. – М., 1970. – С. 94–132.
7. Каменев, А.М. Влияние промерзания на водный режим земляного полотна в предгорных районах Юго-Восточного Казахстана / А.М. Каменев // Труды СоюздорНИИ. Вып. 45. Вопросы строительства автомобильных дорог Казахской ССР. – М., 1970. – С. 14–23.
8. Каменев, А.М. Особенности водно-теплового режима земляного полотна при неблагоприятных условиях увлажнения в предгорных районах Казахстана / А.М. Каменев // Труды СоюздорНИИ. Повышение устойчивости земляного полотна автомобильных дорог на пучиноопасных участках. – М., 1978. – С. 128–143.
9. Телтаев, Б.Б. Деформации и напряжения в жестких конструкциях дорожных одежд / под ред. акад. Ш.М. Айталиева. – Алматы : КазАТК, 1999. – 217 с.
10. Телтаев, Б.Б. Изучение температурного режима асфальтобетонных покрытий автомобильных дорог Алматинской предгорной зоны / Б.Б. Телтаев, С.И. Бурковский, К.С. Кулманов // Сборник материалов. Депонированные научные работы. Вып. 4. № 6488 – Ка95. – Алматы : КазгосИНТИ, 1995.
11. О комплексном исследовании температурного режима городских дорожных конструкций над подземным теплопроводом / Ш.М. Айталиев, Б.Б. Телтаев, К.А. Айтбаев, Х.С. Турсумбекова // Известия высших учебных заведений. Строительство. – 2002. – № 12. – С. 66–70.
12. Предварительный патент 18146 Республика Казахстан. Способ определения температурного режима дорожной конструкции и ее грунтового основания / Б.Б. Телтаев, Ш.Б. Биттеев, К.А. Айтбаев, Д.К. Саканов.
13. Телтаев, Б.Б. Прогноз температурного режима дорожной конструкции методом конечных элементов / Б.Б. Телтаев // Наука и техника в дорожной отрасли. – 2007. – № 2. – С. 18–21.
14. Teltayev, B. Assessment of the non-stationary temperature field in a road construction with an underground heat pipeline by the finite element method / B. Teltayev, K. Aitbaev // International Journal of Pure and Applied Mathematics. – 2014. – V. 93. – № 5. – P. 647–659.
15. Teltayev, B. Modeling of temperature field in flexible pavement / B. Teltayev, K. Aitbaev // Indian Geotechnical Journal. – 08 July 2014. – P. 1–9.
16. Телтаев, Б.Б. Учет механических показателей грунтового основания при расчете дорожных конструкций / Б.Б. Телтаев // Proceedings of IVth Central Asian Geotechnical Symposium «Geo-Engineering for Construction and Conservation of Cultural Heritage and Historical Sites. Challenges and Solutions». – Samarkand, 2012. – P. 218–223.
17. Teltayev, B. Road Soil Basement Temperature and Moisture Variations / B. Teltayev // Proceedings of the 5th International Geotechnical Symposium «Geotechnical Engineering for Disaster Preventions and Redaction, Enviromentally Sustainable Development». – Incheon, Korea, 2013. – P. 493–500.
18. Teltayev, B. Influence of Mechanical Indices for Soil Basement on Strength of Road Structure / B. Teltayev // Proceedings of the 18th International Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering «Challenges and Innovations in Geotechnics». V. 2. Paris, 2013. – P. 1365–1368.

REFERENCES

1. Zapata C.T., Houston W.N. Calibration and validation of the enhanced integrated climatic model for pavement design. Washington, D.C. : Transportation Research Board, 2008. 62 p.
2. Efimenko S.V., Badina M.V., Efimenko V.N. K obosnovaniyu territorial'nogo rasprostraneniya granitsy II–III dorozhno-klimaticheskikh zon v Zapadno-Sibirskom regione [Rationale for boundaries of climatic zones II–III in West Siberia]. *Vestnik of Tomsk State University of Architecture and Building*. 2014. No. 5. Pp. 133–143. (rus)

3. Puzakova N.A., Sidenko V.M. Vodno-teplovoy rezhim zemlyanogo polotna i dorozhnykh odezhd [Water and thermal regime of the subgrade and road pavement]. Moscow : Transport Publ., 1971. 416 p. (rus)
4. Omarov A.Zh., Urazbekov A.K. Obespechenie rabotosposobnosti zemlyanogo polotna zheleznodorozhnogo puti [Preserving the roadbed of railway track]. Almaty : AIIIT Publ., 1995. 146 p. (rus)
5. Ivlev N.P. Obosnovanie opredeleniya norm douvlazhneniya grunta pri vozvedenii zemlyanogo polotna v usloviyakh Kazakhstana [Justification of standards in the construction of post-humidification of soil subgrade in the context of Kazakhstan]. Trudy SoyuzdorNII. 'Sooruzheniya zemlyanogo polotna v slozhnykh prirodnnykh usloviyakh'. Moscow, 1967. V. 18. Pp. 187–195. (rus)
6. Kamenev A.M. Issledovanie vodno-teplovogo rezhima dorozhnykh konstrukttsii v predgornnykh raionakh Yugo-Vostochnogo Kazakhstana [Water-thermal conditions of road structures in South-East Kazakhstan]. Trudy SoyuzdorNII. Proektirovanie i sooruzhenie zemlyanogo polotna dorog v spetsificheskikh prirodnnykh usloviyakh. Moscow, 1970. V. 43. Pp. 94–132. (rus)
7. Kamenev A.M. Vliyanie promerzaniya na vodnyi rezhim zemlyanogo polotna v predgornnykh raionakh Yugo-Vostochnogo Kazakhstana [Soil freezing and water-thermal conditions of road structures in South-East Kazakhstan]. Trudy SoyuzdorNII. Voprosy stroitel'stva avtomobil'nykh dorog Kazakhskoi SSR. Moscow, 1970. V. 45. Pp. 14–23. (rus)
8. Kamenev A.M. Osobennosti vodno-teplovogo rezhima zemlyanogo polotna pri neblagopriyatnykh usloviyakh uvlazhneniya v predgornnykh raionakh Kazakhstana [Water-thermal conditions of subgrade under adverse moisture conditions in Kazakhstan]. Trudy SoyuzdorNII. «Povyshenie ustoychivosti zemlyanogo polotna avtomobil'nykh dorog na puchinoopasnykh uchastkakh». Moscow, 1978. Pp. 128–143. (rus)
9. Teltaev B.B. Deformatsii i napryazheniya v nezhestkikh konstrukttsiyakh dorozhnykh odezhd [Strains and stresses in the non-rigid pavement]. Ed. Sh.M. Aitaliev. Almaty : KazATK Publ., 1999. 217 p. (rus)
10. Teltaev B.B., Burkovskii S.I., Kulmanov K.S. Izuchenie temperaturnogo rezhima asfal'tobetonnnykh pokrytii avtomobil'nykh dorog Almatinskoi predgornoi zony [The temperature of asphalt concrete road pavement of Almaty foothill zone]. Sbornik materialov 'Deponirovannye nauchnye raboty'. V. 4. N 6488 – Ka95. Almaty : KazgosINTI Publ., 1995. (rus)
11. Aitaliev Sh.M., Teltaev B.B., Aitbaev K.A., Tursumbekova Kh.S. O kompleksnom issledovanii temperaturnogo rezhima gorodskikh dorozhnykh konstrukttsii nad podzemnym teploprovodom [About comprehensive study temperature urban road construction over the underground heat conductor]. News of Higher Educational Institutions. Construction. 2002. No. 12. Pp. 66–70. (rus)
12. Teltaev B.B., Bitteev Sh.B., Aitbaev K.A., Sakanov D.K. Sposob opredeleniya temperaturnogo rezhima dorozhnoi konstrukttsii i ee gruntovogo osnovaniya [A method for determining the temperature regime of the road structure and subgrade]. Pat. Rep. Kaz. N 18146. (rus)
13. Aitaliev Sh.M., Murtazin B.S., Teltaev B.B., Alipov U.T. Priblizhennoe modelirovanie temperaturnogo rezhima dorozhnoi konstrukttsii [Approximated simulation of temperature conditions of road construction]. Nauka i tekhnika v dorozhnoi otrasli. 2003. No. 4. Pp. 18–20. (rus)
14. Teltayev B., Aitbaev K. Assessment of the non-stationary temperature field in a road construction with an underground heat pipeline by the finite element method. International Journal of Pure and Applied Mathematics. 2014. V. 93. No. 5. Pp. 647–659. (rus)
15. Teltayev B., Aitbaev K. Modeling of temperature field in flexible pavement. Indian Geotechnical Journal. 08 July. 2014. Pp. 1–9.
16. Teltaev B.B. Uchet mekhanicheskikh pokazatelei gruntovogo osnovaniya pri raschete dorozhnykh konstrukttsii [Accounting mechanical properties of soil foundation in road construction design]. Proc. 6th Central Asian Geotechnical Symposium "Geo-Engineering for Construction and Conservation of Cultural Heritage and Historical Sites. Challenges and Solutions". Samarkand, 2012. Pp. 218–223. (rus)
17. Teltayev B. Road Soil Basement Temperature and Moisture Variations. Proc. 5th Int. Geotechnical Symposium «Geotechnical Engineering for Disaster Preventions and Redaction, Environmentally Sustainable Development». Incheon, Korea, 2013. Pp. 493–500.
18. Teltayev B. Influence of mechanical indices for soil basement on strength of road structure. Proc. 18th Int. Conf. "Challenges and Innovations in Geotechnics". 2013. V. 2. Pp. 1365–1368.