

УДК 625.731.8(571.15)

*ЕФИМЕНКО СЕРГЕЙ ВЛАДИМИРОВИЧ, канд. техн. наук, доцент,  
svefimenko\_80@mail.ru*

*БАДИНА МАРИЯ ВЛАДИМИРОВНА, канд. техн. наук, доцент,  
badina1201@rambler.ru*

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

## **УЧЁТ ОСОБЕННОСТЕЙ ПРИРОДНО-КЛИМАТИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ ПРИ ДОРОЖНО-КЛИМАТИЧЕСКОМ РАЙОНИРОВАНИИ ТЕРРИТОРИИ ЗАПАДНОЙ СИБИРИ**

Представлены результаты многолетних исследований природно-климатических условий, под воздействием которых происходит формирование водно-теплового режима грунтов рабочего слоя земляного полотна автомобильных дорог на территории Западной Сибири. Установлены связи и закономерности изменения критериально принятых в ранее выполненных исследованиях природно-климатических условий, определяющих распространение признаков геокомплексов в пределах границ дорожно-климатических зон. Отражены выявленные несоответствия в территориальном распространении дорожно-климатических зон, схематично выделенных в действующих нормах проектирования автомобильных дорог. Эскизно, с учетом факторов зонального, интразонального и регионального характера на территории исследования назначены линии границ дорожно-климатических зон.

**Ключевые слова:** автомобильная дорога; дорожно-климатическое районирование; климат; рельеф; гидротермический коэффициент, природная зона.

*SERGEI V. EFIMENKO, PhD, A/Professor,  
svefimenko\_80@mail.ru*

*MARIA V. BADINA, PhD, A/Professor,  
badina1201@rambler.ru*

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

## **ROAD-BUILDING CLIMATIC ZONING IN WEST SIBERIA**

The paper presents results of long-term studies of climatic conditions that influence the formation of water-thermal balance in the soil subgrade of roads in Western Siberia. The links and patterns are established for the change of criteria accepted for studies of climatic conditions that determine the geocomplexes within the borders of the road building climatic zones. The paper reflects the inconsistency between the road building climatic zones schematically identified in the existing design standards for highways. Borderlines of road building climatic zones are assigned considering zonal, intra-zonal and regional factors.

**Keywords:** highway; road-building climatic zoning; climate; relief; hydrothermal index; natural zone.

Среди комплекса факторов, обуславливающих состояние эксплуатируемых автомобильных дорог, специалисты выделяют [1, 2] три группы: осо-

бенности проектирования и строительства; природно-климатические условия; особенности содержания и ремонта. Анализ степени влияния этих факторов, выполненный методом априорного моделирования [3], свидетельствует, что на изменение транспортно-эксплуатационных показателей в течение срока службы дорожной одежды автомобильных дорог районов глубокого сезонного промерзания и избыточного увлажнения грунтов наиболее существенное воздействие оказывают природно-климатические условия (включая метеорологические и географические переменные).

Территория Западно-Сибирской равнины характеризуется континентальным климатом. Благодаря своему пространственному расположению она испытывает влияние и континента, и океана. Атмосферное увлажнение территории зависит от влаги, приносимой с запада, с Атлантики, а влияние континента выражается в большой повторяемости антициклональной погоды, в интенсивной трансформации воздушных масс в летний и зимний периоды. В формировании температурного режима большое значение имеет открытость территории с севера и с юга, способствующая свободному проникновению в течение всего года холодного арктического воздуха с севера на юг, что приводит к резким изменениям давления и температуры в течение года и даже суток [4, 5].

Анализируемая территория отличается суровой продолжительной зимой с сильными ветрами и метелями, поздними весенними и ранними осенними заморозками. На большей её части, за исключением северных районов, преобладает теплое, а на юге жаркое, но довольно короткое лето. Осенние и весенние сезоны очень короткие. Переход через 0 °С в Западной Сибири благодаря холодной зиме наблюдается почти на месяц позднее, чем на тех же широтах в европейской части России. Континентальность климата нарастает к югу, по мере удаления от побережья Северного Ледовитого океана [5].

В зимний период вся территория сильно охлаждается. К востоку от Западно-Сибирской равнины формируется устойчивая область Азиатского максимума. Над Карским морем протягивается ложбина пониженного давления Исландского минимума: давление уменьшается с юга на север – к Карскому морю. Поэтому в основном преобладают южные, юго-западные и юго-восточные ветры.

Зима характеризуется устойчивыми отрицательными температурами. Абсолютные минимумы достигают от –45 до –54 °С. Январские изотермы в северной части равнины имеют меридиональное направление, южнее полярного круга (около 63–65° с. ш.) – юго-восточное. На юге проходит изотерма –15 °С, а на северо-востоке –30 °С. Западная часть равнины теплее, чем восточная, на 10 °С. Это объясняется тем, что западные части территории находятся под влиянием западных воздушных масс, а восточные территории охлаждаются под действием Азиатского циклона.

Снежный покров на севере появляется в первой декаде октября и держится на полуостровах 240–260 дн. В конце ноября почти вся территория покрыта снегом. На юге снежный покров держится до 160 дн., обычно до конца апреля, а на севере до конца июня.

Летом над территорией Западно-Сибирской плиты давление понижено, поэтому на неё свободно проникает арктический воздух. При движении на юг

воздух прогревается и дополнительно увлажняется за счет местного испарения. Более теплые западные воздушные массы трансформируются по пути больше, чем арктические. В результате трансформации как арктических, так и атлантических воздушных масс территория низменности заполняется сухим континентальным умеренным воздухом, имеющим высокую температуру. В северной части равнины циклоническая деятельность развивается наиболее интенсивно, в связи с усилением температурных различий между холодным арктическим и теплым континентальным воздухом по линии арктического фронта. В средней и южной частях равнины циклоническая деятельность ослаблена, но циклоны проникают сюда из европейской территории [6].

Июльские изотермы идут почти в широтном направлении. На крайнем севере, через о. Белый, проходит изотерма  $+5^{\circ}\text{C}$ , южнее полярного круга идет изотерма  $+15^{\circ}\text{C}$ , через степные районы с отклонением на юго-восток, к Алтаю, протягивается изотерма  $+20$ ,  $+22^{\circ}\text{C}$ . Абсолютный максимум на севере достигает  $+27^{\circ}\text{C}$ , а на юге  $+41^{\circ}\text{C}$ . При движении с севера на юг изменения летних температур более значительны по сравнению с зимними.

Большая протяженность Западно-Сибирской плиты с севера на юг обуславливает значительные различия в радиационном режиме отдельных её районов. Это связано с разной продолжительностью солнечного сияния в этих районах, с различным соотношением приходящей и уходящей радиации (радиационным балансом), а также с особенностями структуры теплового баланса. Суммарная солнечная радиация в пределах плиты увеличивается от  $60 \text{ ккал/см}^2$  в год в самых северных районах до  $115\text{--}118 \text{ ккал/см}^2$  в год в южных и распределяется почти зонально. Радиационный баланс изменяется от  $12\text{--}13 \text{ ккал/см}^2$  в год на Крайнем Севере до  $34\text{--}35 \text{ ккал/см}^2$  в год в сухих степях Алтайского края и Северного Казахстана (рис. 1) [7]. Радиационный баланс представляет собой те запасы солнечной энергии, которые расходуются на испарение и нагревание поверхности земли и воздуха. Они расходуются различно в разных широтах в соответствии с существующими испарениями: чем больше расход на испарение, тем меньше тепла остается на нагревание грунтов и воздуха. На большей части Западно-Сибирской плиты затраты тепла на испарение значительно превышают величину расхода тепла на теплообмен между почвой и воздухом, особенно в районах, расположенных к северу от лесостепи.

В соответствии с пространственным распределением величины радиационного баланса, режимом возрастания и убывания положительной и отрицательной его составляющих в течение года и характером циркуляции воздушных масс находятся и длительность сезонов года, и время залегания снежного покрова, и даты перехода температуры воздуха через определенные пределы, и её среднегодовые величины, и даты заморозков, и т. п. на различных широтах. Многие из этих факторов (среднегодовые температуры, снежный покров и др.) оказывают решающее влияние на формирование современного состояния и температурного режима горных пород в верхней части разреза и во многом определяют характер развития и деградации многолетнемерзлых пород, наличие которых изменяет и чрезвычайно осложняет инженерно-геологические особенности территории. Кроме того, простран-

ственное распределение радиационного баланса и его составляющих оказывает огромное влияние на характер увлажнения, следовательно, и свойства пород верхней части разреза во всех районах Западно-Сибирской плиты, т. к. одна из составляющих водного баланса определяется тепловым балансом территории.

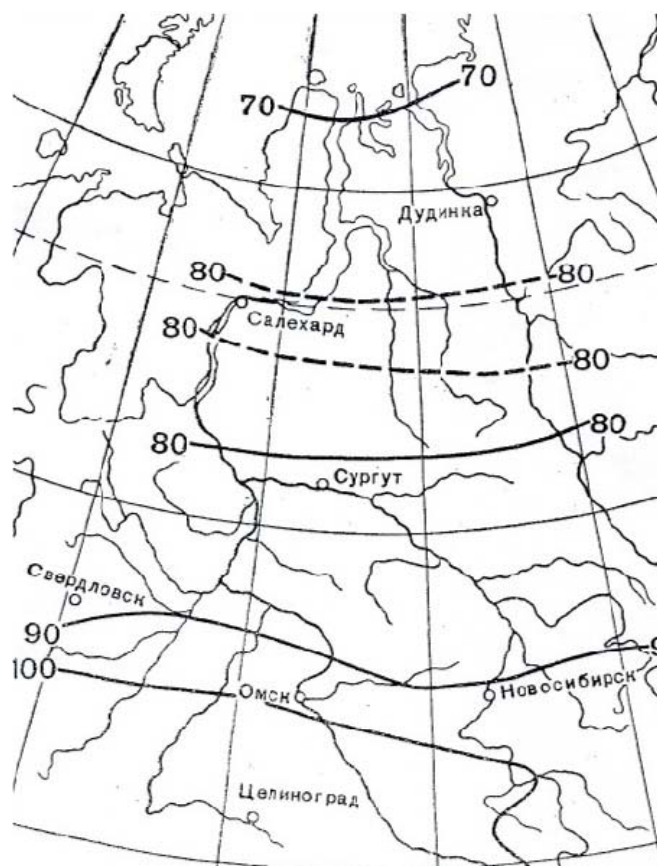


Рис. 1. Суммарная солнечная радиация, ккал/см<sup>2</sup> год (В.В. Орлова, 1962)

В зависимости от гидрогеологических условий местности, типа покрытий дорожных одежд и условий водоотвода земляное полотно автомобильных дорог на территории Западной Сибири может увлажняться за счёт атмосферных осадков, поверхностных вод, грунтовых вод и верховодок, плёночной и парообразной воды [8].

Распределение гидрологических характеристик по данным, приведённым в работе [9], подчинено закону географической широтной зональности. В степном Прииртышье приход влаги к деятельной поверхности за год составляет 350 мм и менее, в остальной части степной зоны и южной лесостепи – 340–420 мм (рис. 2). Общее годовое увлажнение северной лесостепи и полосы смешанных лесов изменяется от 450 до 600 мм в год (рис. 3).

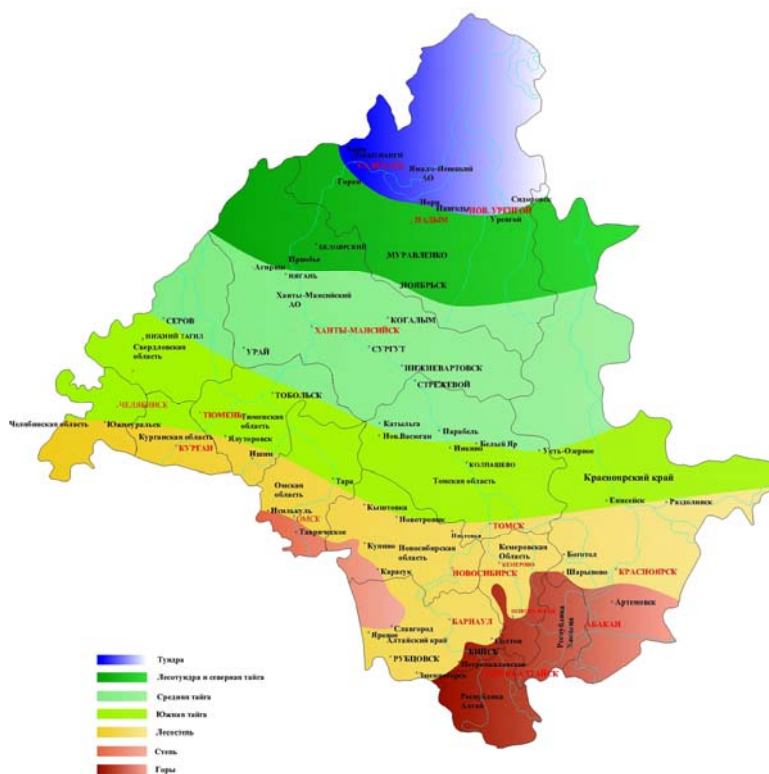


Рис. 2. Природные зоны на территории Западной Сибири



Рис. 3. Общее увлажнение Западной Сибири (по В.С. Мезенцеву, И.В. Карнацевичу):  
 ————— изолинии общего увлажнения (мм в год);  
 ..... дорожно-климатические зоны по результатам исследований ТГАСУ

К северу от линии Тобольск – Томск простираются переувлажнённые территории тайги и тундры, где общее увлажнение составляет 600–750 мм в год. Годовая величина испарения здесь превышает норму суммарного испарения на 140–340 мм (рис. 4), что в условиях необеспеченного стока и недо-

статка тепла способствует заболачиванию территории. Примером такого процесса могут быть Васюганские болота, находящиеся на территории Васюганской равнины, большей частью в пределах Томской области и малыми частями – Новосибирской, Омской областей и Ханты-Мансийского автономного округа [10].

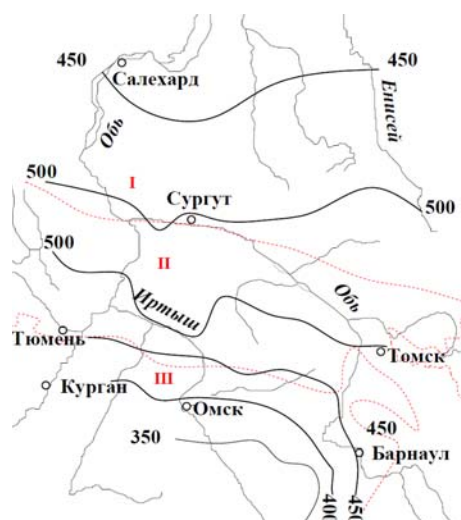


Рис. 4. Суммарное испарение с поверхности суши на территории Западной Сибири (по В.С. Мезенцеву, И.В. Карнацевичу):

————— изолинии суммарного испарение с поверхности суши (мм в год);

..... дорожно-климатические зоны по результатам исследований ТГАСУ

Анализ климатических условий, характерных для отдельных территорий Западной Сибири, свидетельствует об имеющихся несоответствиях, приведённых в СНиП 2.05.02–85\*, фактическому комплексу зональных характеристик. Так, выделенная по признаку избыточного увлажнения II дорожно-климатическая зона не включает лесные районы Кузнецкого Алатау и Горной Шории, которые занимают более 60 % территории Кемеровской области и характеризуются обильным выпадением осадков до 1400 мм в год. Часть территории Алтайского края по комплексу природных и климатических условий следует отнести также ко II дорожно-климатической зоне [11], что не может не сказываться на качестве проектирования автомобильных дорог на исследуемой территории.

Приведённые сведения свидетельствуют о том, что характер теплообеспеченности и увлажнённости территории, занимаемой Западно-Сибирской плитой, существенно изменяется с севера на юг.

В работе [12] была показана возможность применения гидротермического коэффициента Г.Т. Селянинова (ГТК) для характеристики увлажнённости территории административных образований при осуществлении работ по дорожно-климатическому районированию. Результаты определения значений гидротермического коэффициента для опорных пунктов, например, на территории Западной Сибири соответствуют территориальному распространению

дорожно-климатических зон (ДКЗ). Так, для II ДКЗ – при ГТК > 1,40; для III ДКЗ – при ГТК = 1,00 – 1,40; для IV ДКЗ – при ГТК = 1,00 – 0,50.

Западно-Сибирскую плиту пересекают три климатических пояса: арктический, субарктический и умеренный (см. рис. 2). То есть при принципиально различных широтных поясах по характеру увлажнения и теплообеспеченности [13]: пояс весьма избыточного увлажнения и недостаточной теплообеспеченности (рис. 5) (природные зоны: тундра; лесотундра); пояс преимущественно избыточного и достаточного увлажнения (природные зоны: северная и средняя тайга; южная тайга; смешанные леса; мелколиственные леса); пояс недостаточного увлажнения и достаточной теплообеспеченности (природные зоны: северная лесостепь; центральная лесостепь; южная лесостепь; степь).

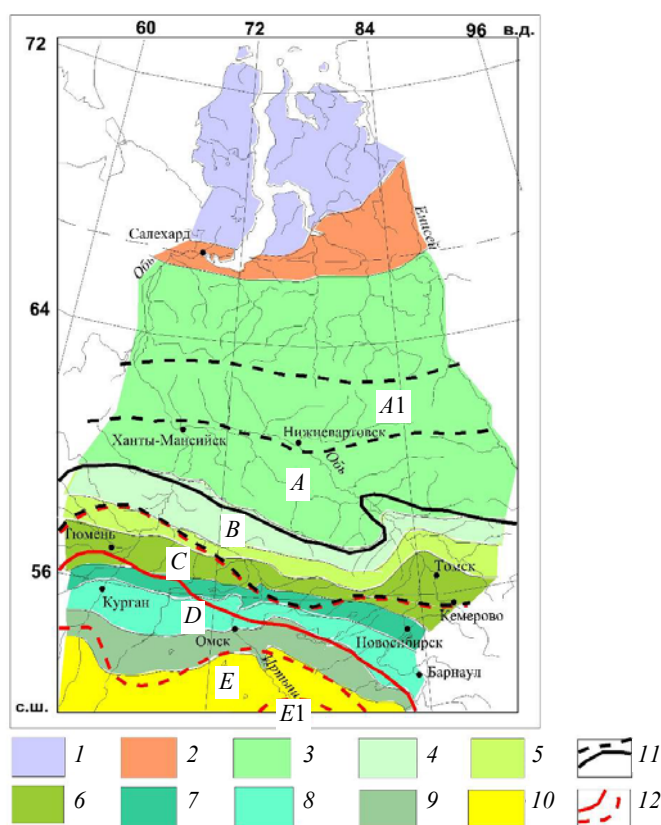


Рис. 5. Гидролого-климатические зоны, природные зоны и зона оптимальных гидролого-климатических условий аграрного природопользования Западно-Сибирской равнины (по О.В. Мезенцевой):

**Природные зоны:** 1 – тундра; 2 – лесотундра; 3 – северная и средняя тайга; 4 – южная тайга; 5 – смешанные леса; 6 – мелколиственные леса; 7 – северная лесостепь; 8 – центральная лесостепь; 9 – южная лесостепь; 10 – степь.

**Гидролого-климатические зоны (по данным В.С. Мезенцева, И.В. Карнаевич, 1969 г.):** А – зона избыточного увлажнения в средний и влажные годы и оптимального увлажнения в сухой год повторяемостью не реже 1 раза в 5 лет; В – зона избыточного увлажнения и недостаточной теплообеспеченности во влаж-



ный год повторяемостью 1 раз в 5 лет и оптимального увлажнения в средний и сухой год повторяемостью не реже 1 раза в 5 лет; *C* – зона оптимального увлажнения и теплообеспеченности в средний и влажный год повторяемостью не реже 1 раза в 5 лет и недостаточного увлажнения в сухой год повторяемостью не реже 1 раза в 5 лет; *D* – зона недостаточного увлажнения и избыточной теплообеспеченности в средний и сухой год повторяемостью не реже 1 раза в 5 лет и оптимального увлажнения во влажный год повторяемостью не реже 1 раза в 5 лет; *E* – зона весьма недостаточного увлажнения в средний и сухие годы и оптимального увлажнения во влажный год повторяемостью не реже 1 раза в 5 лет; *A1* – зона весьма избыточного увлажнения и недостаточной теплообеспеченности; *E1* – зона весьма недостаточного увлажнения и избыточной теплообеспеченности.

**Зона оптимальных гидролого-климатических условий аграрного природопользования:** *A, B, C, D* – зона оптимальных гидролого-климатических условий аграрного природопользования с учетом среднего, а также сухих и влажных лет повторяемостью не реже 1 раза в 5 лет;

*I1* – гидролого-климатический рубеж зоны в средний год и сухие годы повторяемостью 1 раз в 5 и 20 лет; *I2* – гидрографический рубеж зоны в средний и влажные годы повторяемостью 1 раз в 5 и 20 лет

Глубокое различие теплообеспеченности и увлажнённости рассмотренных поясов обуславливает формирование различного сочетания зонально-геологических факторов в их границах и определяет принципиальное различие инженерно-геологических условий этих территорий.

Исходя из вышесказанного предварительно, на стадии формирования базы данных, включающей факторы зонального, интразонального и регионального характера, на территории Западной Сибири условно назначены линии границ дорожно-климатических зон (рис. 6).



Рис. 6. Проект схемы дорожно-климатического районирования территории Западной Сибири



Граница I–II дорожно-климатических зон проложена между параллелями с юга 56° с. ш. на север до 62° с. ш. через опорные пункты: Пионерский – Ханты-Мансийск – Нефтеюганск – Стрежевой – Белый Яр – Канск. Граница II–III дорожно-климатических зон расположена в направлении с юга на север от параллели 50° с. ш. до параллели 58° с. ш. и соединяет опорные пункты: Челябинск – Тюмень – Пихтовка – Колпашево – Кемерово – Бийск. Линия границы III–IV дорожно-климатических зон ограничена параллелями 50–56° с. ш. и пересекает опорные пункты: Южноуральск – Исилькуль – Купино – Рубцовск.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Сильянов, В.В. Транспортно-эксплуатационные качества автомобильных дорог / В.В. Сильянов – М. : Транспорт, 1984. – 287 с.
2. Васильев, А.П. Принципы прогнозирования транспортно-эксплуатационного состояния дорог / А.П. Васильев, Ю.М. Яковлев, М.С. Коганзон // Автомобильные дороги. – 1993. – № 1. – С. 8–10.
3. Ефименко, В.Н. Анализ причин разрушения нежестких дорожных одежд в условиях Западной Сибири / В.Н. Ефименко, В.П. Вилисов // Рациональные методы строительства и эксплуатации автомобильных дорог в условиях Сибири. – Томск : Изд-во Том. ун-та, 1983. – С. 41–45.
4. Инженерная геология СССР. Западно-Сибирская и Туранская плиты: в 2 кн. / под ред. В.Т. Трофимова, Ю.Ф. Захарова, А.С. Хасанова. – М. : Недра, 1990. Кн. 1. – 330 с., кн. 2. – 334 с.
5. Трофимов, В.Т. Закономерности пространственной изменчивости инженерно-геологических условий Западно-Сибирской плиты / В.Т. Трофимов. – М. : Изд-во МГУ, 1977 – 276 с.
6. Горшенин, К.П. Почвы южной части Сибири (от Урала до Байкала) / К.П. Горшенин. – М. : Изд-во Академии наук СССР, 1955. – 592 с.
7. Орлова, В.В. Западная Сибирь / В.В. Орлова // Климат СССР. – Вып. 4. – Л. : Гидрометеиздат, 1962. – 360 с.
8. Ефименко, В.Н. Источники увлажнения земляного полотна автомобильных дорог районов глубокого промерзания грунтов / В.Н. Ефименко, А.И. Шеслер // Исследование транспортных сооружений Сибири. – Томск : Изд-во Том. ун-та, 1987. – С. 168–172.
9. Мезенцев, В.С. Гидролого-климатическая характеристика Западно-Сибирской равнины / В.С. Мезенцев, И.В. Карнацевич // Тепловой и водный режим некоторых районов Сибири. – Л. : Наука, 1970. – С. 23–42.
10. Комплексный мониторинг Большого Васюганского болота: современное состояние и процессы развития под воздействием природных и антропогенных факторов. – Условия доступа : <http://www-sbras.nsc.ru/HBC/2001/n18-19/f18.html>, свободный.
11. К обоснованию территориального распространения границы II–III дорожно-климатических зон в Западно-Сибирском регионе / В.Н. Ефименко, С.В. Ефименко, А.В. Сухоруков, Т.А. Кожухарь // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. – 2014. – № 5. – С. 133–143.
12. Ефименко, В.Н. Дорожно-климатическое районирование территории юго-восточной части Западной Сибири / В.Н. Ефименко // Разработка рациональных методов проектирования, строительства и эксплуатации автомобильных дорог и мостов: сб. статей / под ред. В.М. Картопольцева. – Томск : Изд-во Том. ун-та, 1981. – С. 14–23.
13. Мезенцева, О.В. Географические закономерности зоны оптимальных гидролого-климатических условий для аграрного природопользования (на примере Западной Сибири): автореф. дис. ... докт. географ. наук. – Томск, 2010. – 45 с.

## REFERENCES

1. *Silyanov V.V.* Transportno-ekspluatatsionnye kachestva avtomobilnyh dorog [Transport and service properties of roads]. Moscow, Transport Publ., 1984. 287 p. (rus)
2. *Vasilev A.P., Yakovlev Yu.M., Koganzon M.S.* Printsipyi prognozirovaniya transportno-ekspluatatsionnogo sostoyaniya dorog [Principles of forecasting transport and service properties of roads]. *Avtomobil'nye dorogi*. 1993. No. 1. Pp. 8–10. (rus).
3. *Efimenko V.N., Vilisov V.P.* Analiz prichin razrusheniya nezhyostkih dorozhnyh odezhd v usloviyah Zapadnoj Sibiri [Analysis of destruction of non-rigid pavements in West Siberia]. *Racional'nye metody stroitel'stva i ehkspluatatsii avtomobil'nyh dorog v usloviyah Sibiri*. Tomsk, TSU Publ., 1983. Pp. 41–45 (rus).
4. *Trofimov V.T., Zaharov Yu.F., Hasanov A.S.* Inzhenernaya geologiya SSSR. Zapadno-Sibirskaya i Turanskaya plity [Engineering geology of the USSR. West Siberian and Turan plates]. Moscow, Nedra Publ., 1990. Book 1. 330 p.; book 2. 334 p. (rus)
5. *Trofimov V.T.* Zakonomernosti prostranstvennoj izmenchivosti inzhenerno-geologicheskikh uslovij Zapadno-Sibirskoj plity [Spatial variability of geological conditions of West Siberian plate]. Moscow, MSU Publ., 1977. 276 p. (rus).
6. *Gorshenin K.P.* Pochvy yuzhnoj chasti Sibiri (ot Urala do Bajkala) [Soils of southern Siberia from the Urals to Baikal]. Moscow, USSR Academy of Sciences Publ., 1955. 592 p. (rus).
7. *Orlova V.V.* Zapadnaya Sibir' [West Siberia]. *Klimat SSSR*. Leningrad, Gidrometeoizdat, 1962. 360 p. (rus).
8. *Efimenko V.N., Shesler A.I.* Istochniki uvlazhneniya zemlyanogo polotna avtomobil'nyh dorog rajonov glubokogo promerzaniya gruntov [Sources of moisture subgrade of roads in deep soil freezing areas]. *Issledovanie transportnyh sooruzhenij Sibiri*. Tomsk, TSU Publ., 1987. Pp. 168–172. (rus).
9. *Mezentsev V.S., Karnatsevich I.V.* Gidrologo-klimaticheskaya kharakteristika Zapadno-Sibirskoi ravniny [Hydrological and climatic properties of West Siberian Plain]. *Teplovoi i vodnyi rezhim nekotorykh raionov Sibiri*. Leningrad : Nauka Publ., 1970. Pp. 23–42. (rus)
10. *Kompleksnyj monitoring Bol'shogo Vasyuganskogo bolota: sovremennoe sostoyanie i processy razvitiya pod vozdejstviem prirodnyh i antropogennyh faktorov* [Comprehensive monitoring of Great Vasyugan mire: modern state and development processes under the influence of natural and anthropogenic factors]. Available at : <http://www-sbras.nsc.ru/HBC/2001/n18-19/f18.html>.
11. *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).
12. *Efimenko V.N.* Dorozhno-klimaticheskoe rajonirovanie jugo-vostochnoj chasti Zapadnoj Sibiri [Road building climatic zoning of the southeast Western Siberia]. *Razrabotka racional'nyh metodov proektirovaniya, stroitel'stva i ehkspluatatsii avtomobil'nyh dorog i mostov*. Ed. V.M. Kartopol'cev. Tomsk, 1981. Pp. 14–23 (rus).
13. *Mezentseva O.V.* Geograficheskie zakonomernosti zony optimal'nyh gidrologo-klimaticheskikh uslovij dlya agrarnogo prirodopol'zovaniya (na primere Zapadnoj Sibiri) [Geographic patterns of optimal zone of hydrological and climatic conditions for agricultural nature management (on the example of Western Siberia). DSc abstract]. Tomsk, 2010. 45 p. (rus).