

УДК. 624.131.431.3

Прогнозирование влажности грунтов земляного полотна автомобильных дорог предгорной и горной местности на территории Юго-Западного Кыргызстана

Э. М. Каримов

Ошский технологический университет Кыргызстана, Республика Кыргызстан, 723503, Ош, ул. Н. Исанова, 81

Для цитирования: Каримов Э. М. Прогнозирование влажности грунтов земляного полотна автомобильных дорог предгорной и горной местности на территории Юго-Западного Кыргызстана // Известия Петербургского университета путей сообщения. СПб.: ПГУПС, 2024. Т. 21, вып. 4. С. 846–855. DOI: 10.20295/1815-588X-2024-04-846-855

Аннотация

Цель: обосновать прогнозирование влажности земляного полотна автомобильных дорог с учетом особенностей климатических условий на территории Юго-Западного Кыргызстана (ЮЗК) — одной из четырех природно-климатических провинций страны. Основным источником почвенной влаги — это атмосферные осадки. Осадки очень изменчивы во времени и пространстве на исследуемой территории, поэтому выявление их высотных зависимостей в горах представляет собой трудную задачу при недостаточном объеме исходных данных, на которые напрямую воздействует влагонакопление земляного полотна автомобильных дорог. Все инженерные мероприятия по управлению водно-тепловым режимом основаны на его регулировании, а также на ограничении доступа влаги в земляное полотно, причем правильное планирование этих мероприятий осуществляется только при условии тщательного установления источников увлажнения местности. **Методы:** прогнозирование влажности грунта земляного полотна с достаточной степенью достоверности позволяет прогнозировать весеннюю или осеннюю влажность грунта земляного полотна с помощью математически обоснованного анализа погодно-климатических факторов предгорной и горной зоны Юго-Западного Кыргызстана. **Результаты:** разработка методики прогнозирования влажности глинистых грунтов земляного полотна автомобильных дорог 1-го типа местности. **Практическая значимость:** методика применяется при проектировании, а также в период эксплуатации дорожного покрытия на территории Юго-Западного Кыргызстана и с достаточной степенью достоверности позволяет прогнозировать весеннюю или осеннюю влажность грунта земляного полотна с помощью математически обоснованного анализа погодно-климатических факторов. Был проведен анализ прямых наблюдений влажности и температуры грунта, в ходе которого показано, что влажность и гидротермический коэффициент (ГТК) Селянинова связаны уравнением регрессии. В результате были получены уравнения для расчета относительной влажности грунта в предгорных и горных дорожно-климатических районах Юго-Западного Кыргызстана.

Ключевые слова: относительная влажность грунта, водно-тепловой режим, земляное полотно автомобильных дорог, атмосферные осадки, гидротермический коэффициент (ГТК) Селянинова

Введение

Климатические условия Кыргызстана выделяются своим разнообразием и контрастностью на разных высотах. В нижних частях

внешних горных хребтов ощущается засушливое влияние окружающих пустынь, тогда как на вершинах преобладают ледники и вечные

снега. Между этими зонами расположены переходные пояса, которые различаются по температурному режиму, количеству осадков и другим климатическим характеристикам [1].

На рис. 1 представлена зафиксированная мультиспутниковой моделью TMPA-3B43 (Tropical Rainfall Measuring Mission Multi-satellite Precipitation Analysis) сумма годовых атмосферных осадков на территории ЮЗК за период наблюдений с 1990 по 2015 год, а на рис. 3 — за период наблюдений с 2015 по 2019 год [2–4]. Они показывают, что не вся территория покрыта одинаковыми нормами атмосферных осадков. Основной источник почвенной влаги — это атмосферные осадки, количество и распределение которых во вре-

мени зависит от климата данной местности [5–6]. Из этого делаем вывод, что показатели влажности грунтов [6–8] тоже будут различными. Естественно, на это влияют сложные горные рельефы местности. Эти непростые данные ставят задачу исследовать и составить прогнозирование влажности земляного полотна на автомобильных дорогах для территории Юго-Западного Кыргызстана.

Осадки считаются вторым по значимости климатическим фактором после температуры воздуха. Важную роль в создании благоприятного климата играет сочетание тепла и влаги. Однако осадки сильно варьируются в зависимости от времени и места, что затрудняет их анализ. Особенно сложно выявить зависимость

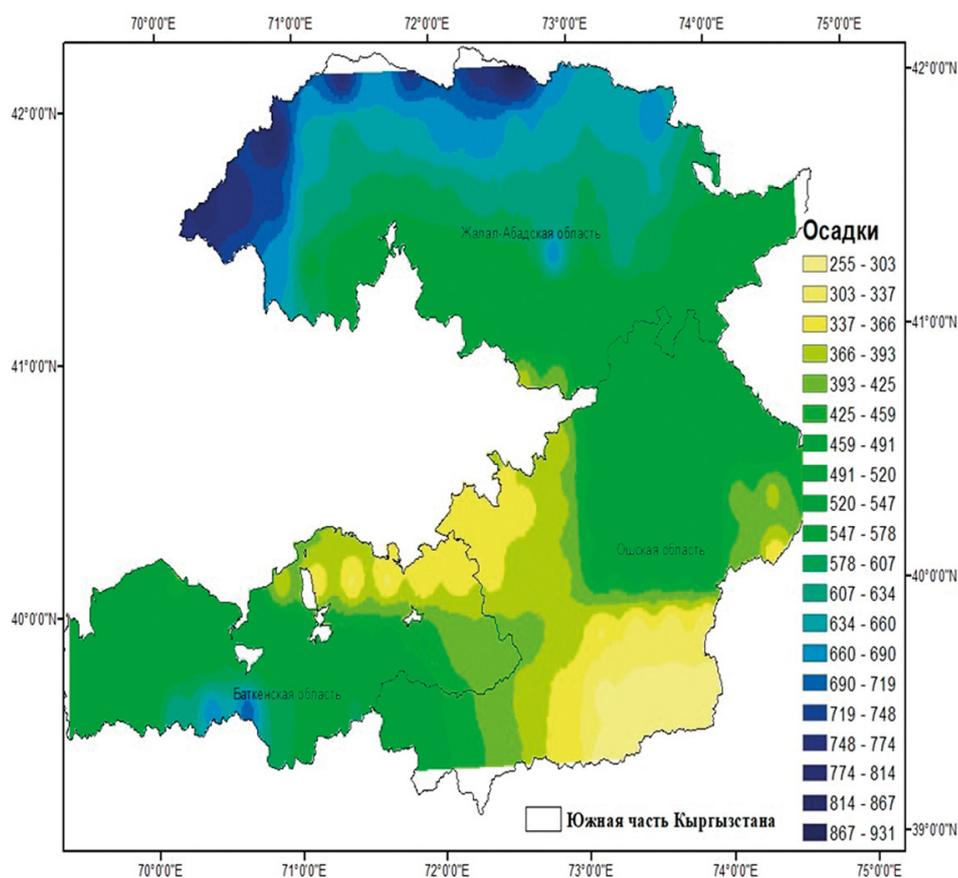


Рис. 1. Карта-схема сумм атмосферных осадков климатической провинции ЮЗК за период наблюдений с 1990 по 2015 год [2]

осадков от высоты в горах, где нехватка данных делает этот процесс еще более трудным [10]. Поэтому основными определяющими факторами придорожно-климатического районирования Кыргызской Республики (СНиП КР 32-01:2004 «Проектирование автомобильных дорог») являются абсолютная высота зоны над уровнем моря (м), а также годовое количество осадков (мм).

Все работы, связанные с регулированием водно-теплового режима, строятся на управлении этим режимом и ограничении доступа влаги в земляное полотно. Для успешного планирования таких мероприятий необходимо точно определить источники увлажнения и показатели влажности местности, что позволит правильно организовать инженерные решения [11]. Для определения показателей нормы атмосферных осадков на исследуемых участках автомобильных дорог можно использовать фрагменты из карты-схемы сумм атмосферных осадков климатической провинции ЮЗК со схемами автомобильных дорог (рис. 2) за периоды наблюдений с 1990 по 2015 год [2] и с 2015 по 2019 год (рис. 4).

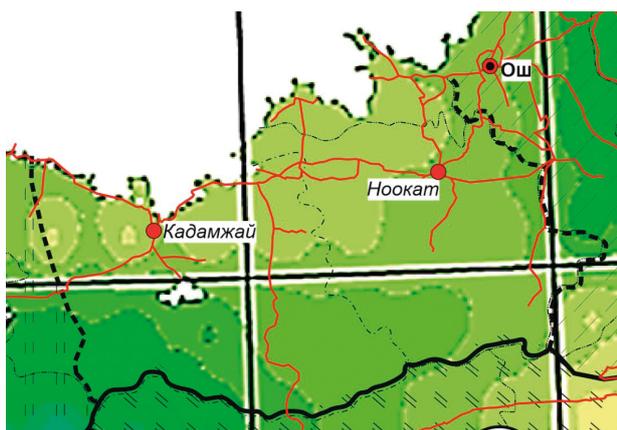


Рис. 2. Фрагмент из карты-схемы сумм атмосферных осадков климатической провинции ЮЗК за период наблюдений с 1990 по 2015 год со схемами автомобильных дорог

Методы и материалы исследования

На рис. 5 представлена гистограмма изменения коэффициента увлажнения гидротермического коэффициента (ГТК) Селянинова и среднегодовой температуры воздуха по маршруту исследования (по схемам автомобильных дорог, расположенных в V–IV дорожно-климатической зоне Кыргызской Республики, согласно СНиП КР 32-01:2004). Расчеты ГТК и температуры воздуха выполнены как средняя для каждого отрезка пункта маршрута исследования характеристика основных геокомплексов дорожных районов на территории Юго-Западного Кыргызстана.

В результате исследования процессов, приводящих к снижению прочности грунта в поверхностных слоях откоса полотна дороги научно-учебного полигона на сложных участках перевала Чыйырчык и на перевале Наукат, были определены такие метеорологические элементы, как увлажнение и температура воздуха.

Стоит отметить, что разрушения дорожного полотна в результате снижения прочности отмечались именно на тех участках маршрута исследования, где расчетные значения ГТК были 0,79 и выше. Так, на отрезке маршрута Ош — Наукат и перевале Чыйырчык, где были значительные разрушения дорожного полотна, они составляли 0,79 и 0,93 соответственно [12].

Для проверки значимости ГТК и температуры воздуха, которые влияют на прочностные характеристики грунта земляного полотна автомобильных дорог, проведен регрессионный анализ. Результат регрессионного анализа показал, что зависимость между этими метеорологическими элементами имеет уровень достоверности 73 % (рис. 4).

Линия аппроксимации описывает зависимость полиномиальной функцией 3-го порядка (табл. 1).

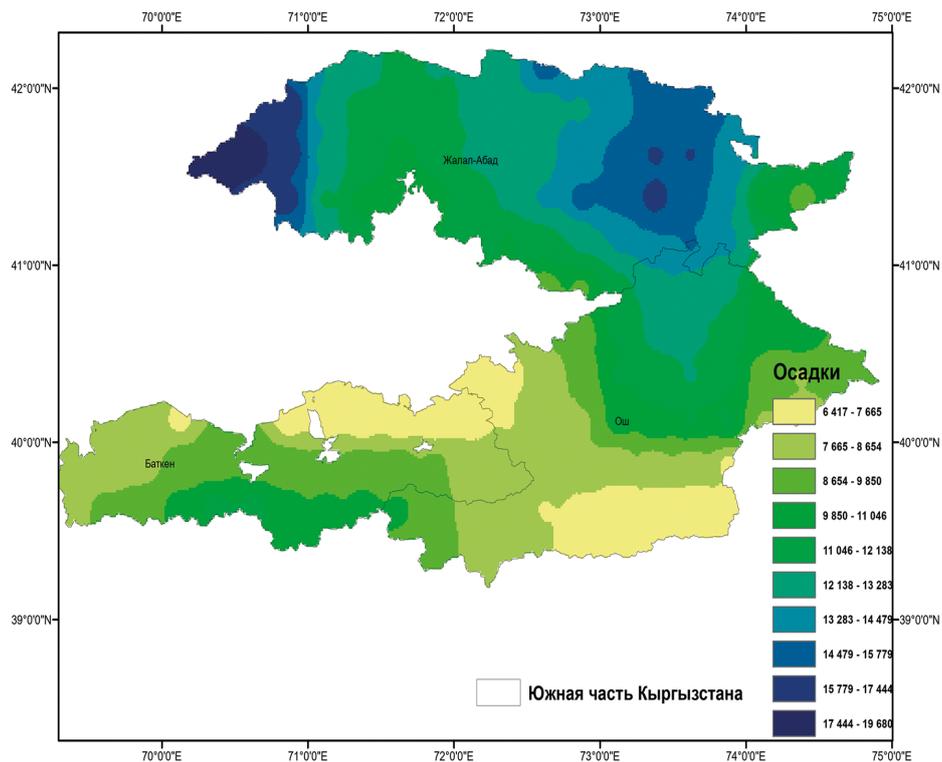


Рис. 3. Карта-схема сумм атмосферных осадков климатической провинции ЮЗК за период наблюдений с 2015 по 2019 год

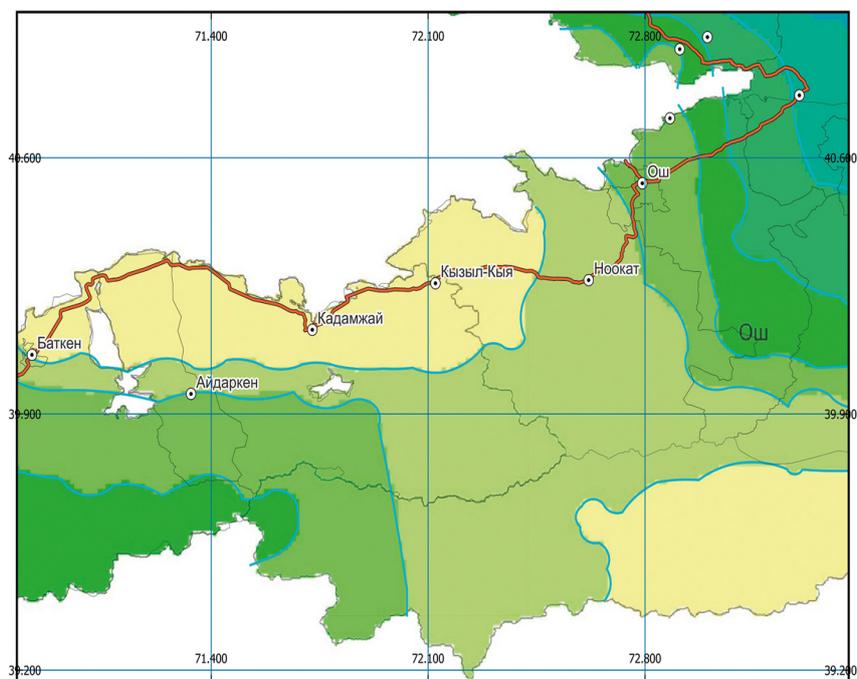


Рис. 4. Фрагмент из карты-схемы сумм атмосферных осадков климатической провинции ЮЗК за период наблюдений с 2015 по 2019 год со схемами автомобильных дорог

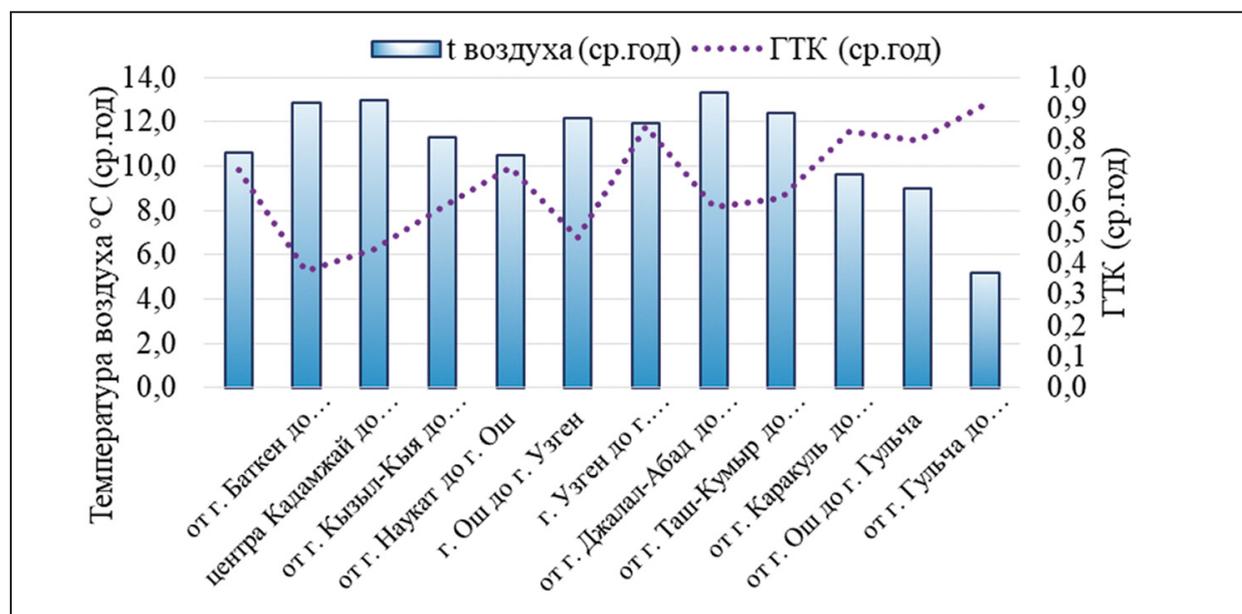


Рис. 5. Гидротермический коэффициент увлажнения Селянинова (ГТК) и среднегодовая температура воздуха для участков исследования (по схемам автомобильных дорог ЮЗК)

ТАБЛИЦА 1. Результаты расчетных значений ГТК и температуры воздуха

№ участка	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
ГТК (ср. год)	0,70	0,38	0,45	0,58	0,71	0,48	0,84	0,58	0,61	0,83	0,80	0,91
t воздуха (ср. год)	10,60	12,84	12,95	11,30	10,50	12,16	11,93	13,29	12,38	9,61	8,98	5,16

На рис. 6 представлена точечная диаграмма зависимости ГТК и относительной влажности грунта земляного полотна, которая была определена в ходе полевых испытаний. Расчетные значения ГТК Селянинова для исследуемого участка автомобильных дорог V–IV дорожно-климатической зоны рассчитаны по многолетним метеорологическим данным температуры воздуха и осадков во внутригодовом распределении — в нашем случае с марта по ноябрь. По нашим исследованиям была определена зависимость прочностных характеристик грунта от относительной влажности грунта земляного полотна, достоверность которой оценивалась на уровне 80%. Поэтому было решено

проверить зависимость ГТК и относительной влажности грунта земляного полотна [13–15], так как известно, что ГТК Селянинова имеет прямую зависимость от температуры воздуха и осадков.

Результат определения зависимости указывает, что он имеет характер высокой тесной связи и описывается полиномиальной функцией с уравнением $y = 0,5025x^2 - 0,6217x + 0,9991$ (коэффициент детерминации $R^2 = 0,88$, средняя ошибка аппроксимации 5,63 %). Достоверность значимости результатов регрессионного анализа — на уровне 90 % (табл. 2, рис. 7).

Результат последних расчетов позволил нам вывести уравнение для расчета относительной

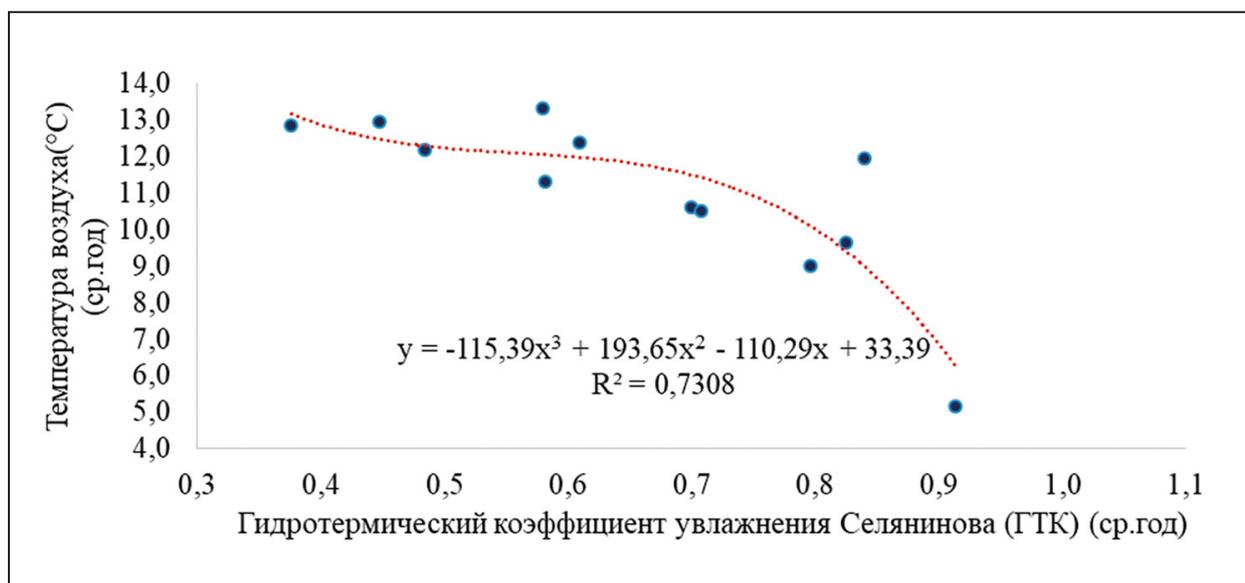


Рис. 6. Зависимость ГТК и температуры воздуха исследуемых участков маршрута

ТАБЛИЦА 2. Результаты лабораторных испытаний относительно влажности грунта и ГТК

Месяц	Апрель	Май	Июнь	Июль	Август	Сентябрь	Октябрь
W отн. влаж. грунта	1,46	0,93	0,94	0,86	0,89	0,84	0,84
ГТК	1,71	1,30	0,61	0,31	0,17	0,22	0,95

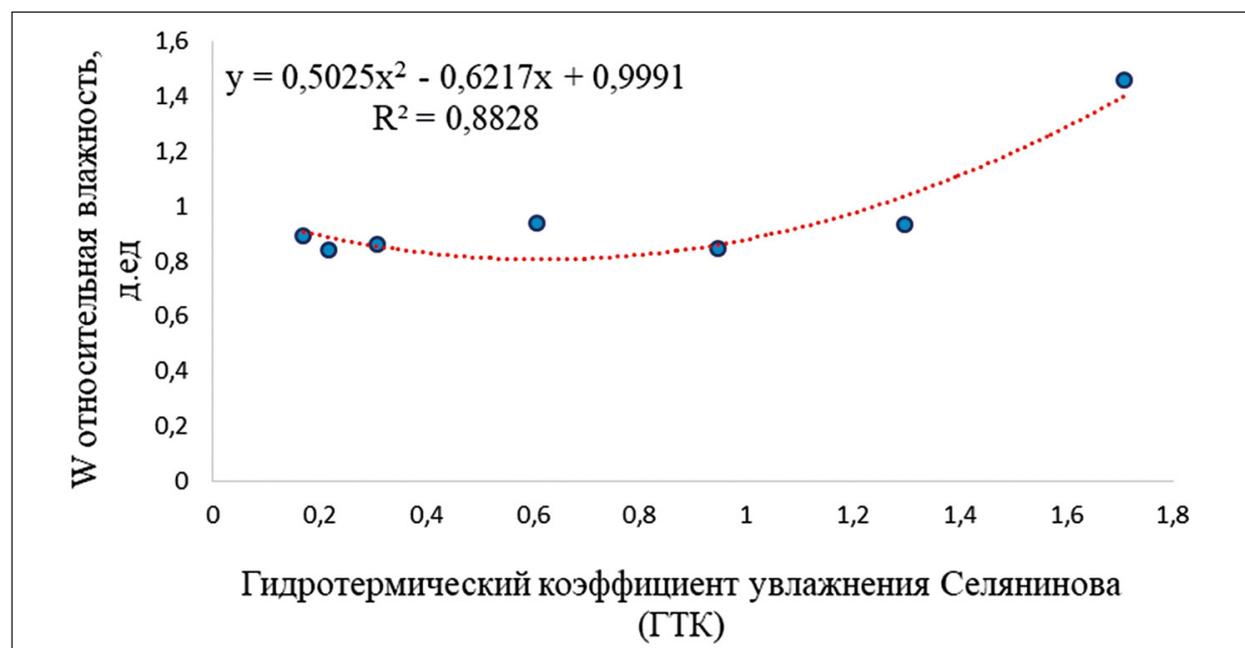


Рис. 7. Зависимость ГТК и относительной влажности грунта исследуемого участка маршрута

влажности грунта, который определяет прочностные характеристики грунта земляного полотна, используя расчетные значения ГТК Селянинова.

Уравнение квадратичной регрессии для расчета относительной влажности грунта имеет следующий вид:

$$W = 0,5025 \text{ ГТК}^2 - 0,6217 \text{ ГТК} + 0,9991,$$

где W — относительная влажность грунта;
ГТК — гидротермический коэффициент Селянинова для исследуемого участка.

Выводы

В ходе проведенных исследований было получено рабочее уравнение для расчета относительной влажности грунта с использованием расчетных значений гидротермического коэффициента Селянинова. Данное уравнение может быть рекомендовано проектировщикам автомобильных дорог для определения прочностных характеристик грунтов в IV–V дорожно-климатической зоне на территории Юго-Западного Кыргызстана.

Существующие расчетно-вероятностные методы прогнозирования влажности грунтов позволяют достаточно надежно определять характеристики грунтов в земляном полотне в течение периода между капитальными ремонтами дорожных покрытий. Однако эти методы не дают возможности точно определить, какой именно год межремонтного цикла будет расчетным.

Представленный метод прогнозирования влажности грунта земляного полотна позволяет с высокой степенью точности предсказывать влажность в весенний и осенний периоды. Это достигается посредством математически обоснованного анализа климатических и погодных условий предгорных и горных районов Юго-Западного Кыргызстана.

Таким образом, полученная зависимость позволяет прогнозировать влажность грунтов земляного полотна автомобильных дорог предгорной и горной местности Юго-Западного Кыргызстана.

Библиографический список

1. Агроклиматические ресурсы Ошской области Киргизской ССР. Л.: Гидрометеоздат, 1975. 148 с.
2. Прикладное значение спутниковой модели ТМРА при установлении нормы годового количества атмосферных осадков по дорожно-климатическим зонам на территории Юго-Западного Кыргызстана / Ефименко В. Н [и др.] // Вестник ТГАСУ. 2021. № 4. С. 144–158.
3. Рыскаль М. О. Оценка сумм осадков на территории Кыргызстана по данным спутниковых наблюдений: дисс. ... канд. геогр. наук. Бишкек, 2020. 173 с.
4. Рыскаль М. О. Спутниковые карты годовых и сезонных сумм осадков для территории Кыргызстана // Материалы Междунар. науч. конф., посвящ. 15-летию ЦАИИЗ «Дистанционные и наземные исследования земли в Центральной Азии». Бишкек, 2019. С. 206–213.
5. Каримов Э. М. Определение расчетной влажности грунтов в естественном залегании по экспериментальным данным относительно высотных отметок рельефа Кыргызстана // Вестник КРСУ. 2022. Т. 8. № 12. С. 140–151.
6. Каримов Э. М. Влияние водно-теплового режима на техническое состояние земляного полотна автомобильных дорог в условиях V дорожно-климатической зоны Кыргызстана // Вестник ТГАСУ. 2020. № 1. С. 193–204.
7. Гнездилова С. А. Прогнозирование влажности грунтов земляного полотна автомобильных дорог для целей проектирования и эксплуатации на территории Белгородской области // Вестник БГТУ им. В. Г. Шухова. 2015. № 5. С. 36–38.

8. Ефименко В. Н. Водно-тепловой режим земляного полотна автомобильных дорог при глубоком промерзании грунтов (на примере юго-востока Западной Сибири): дисс. ... канд. техн. наук. М., 1978. 216 с.
9. Пономаренко П. Н. Атмосферные осадки Киргизии. Л.: Гидрометеиздат, 1976. 129 с.
10. Подрезов О. А. Горная климатология и высотная климатическая зональность Кыргызстана. Бишкек, 2014. 169 с.
11. Водно-тепловой режим земляного полотна и дорожных одежд / под. ред. И. А. Золоторя, Н. А. Пузакова, В. М. Сиденко. М.: Транспорт, 1971. 416 с.
12. Каримов Э. М. Учет влияния региональных природно-климатических условий на состояние дорожных конструкций территории Юго-Западной Киргизии // Вестник ВолГАСУ. 2023. № 1 (90). С. 81–92.
13. Киялбаев А. К., Алимгазин Б. Т., Адыгаппаров К. Примеры определения расчетной влажности грунта в теле земляного полотна в условиях засушливого климата // Вестник КГУСТА. 2016. № 1 (52). С. 21–26.
14. Афиногенов О. П., Ефименко С. В., Афиногенов А. О. Совершенствование методов проектирования автомобильных дорог на основе дифференциации районирования. Кемерово: Офсет, 2015. 364 с.
15. Каримов Э. М., Прогнозирование расчетной влажности грунтов земляного полотна автомобильных дорог при глубоком залегании уровня грунтовых вод на территории Юго-Западного Кыргызстана // Вестник ВолГАСУ. 2024. № 3 (96). С. 6–14.

Дата поступления: 21.10.2024

Решение о публикации: 20.11.2024

Контактная информация:

Э. М. КАРИМОВ — канд. техн. наук, доцент, заведующий кафедрой «Прикладная механика» Ошского технологического университета им. М. М. Адышева; karimov.71@mail.ru

Forecasting of soil moisture of the roadbed of automobile roads in foothill and mountainous areas on the territory of Southwestern Kyrgyzstan

E. M. Karimov

Osh Technological University of Kyrgyzstan, 81, N. Isanov st., 723503, Osh, Republic of Kyrgyzstan

For citation: Karimov E. M. Forecasting soil moisture of the earthen floor of highways of foothill and mountainous areas in the territory of Southwestern Kyrgyzstan // Proceedings of Petersburg Transport University. 2024. Vol. 21, iss. 4. P. 846–855. (In Russian) DOI: 10.20295/1815-588X-2024-04-846-855

Abstract

Purpose: to substantiate the prediction of the moisture content of the roadbed, taking into account the peculiarities of climatic conditions in the territory of southwestern Kyrgyzstan. Southwestern Kyrgyzstan (Southwestern Kyrgyzstan), one of the four climatic provinces of Kyrgyzstan. The main source of soil moisture is precipitation. Precipitation is very variable in time and space in the study area, and therefore the identification of their altitude dependencies in the mountains is a difficult task with an insufficient amount of initial data, which is directly affected by moisture accumulation of the roadbed. All engineering measures to regulate the water-thermal regime are based on limiting the water-thermal regime, as well as limiting the access of moisture to the roadbed, and proper planning of these measures is carried out only if the sources of humidification of the area are carefully established. **Methods:** forecasting the moisture content of the soil of the roadbed with a sufficient degree of reliability allows you to predict the spring or autumn moisture content of the soil of the roadbed using a mathematically justified analysis of weather and climatic factors of the foothill and mountainous zone. **Results:** the task of this work is to develop a methodology for predicting the moisture content of clay soils of the roadbed of the 1st type of terrain, taking into account the nature and degree of humidification of foothill and mountainous terrain for the territory of southwestern Kyrgyzstan. **Practical significance:** this technique is used in the design, as well as during the operation of the pavement on the territory of southwestern Kyrgyzstan with a sufficient degree of reliability to predict the spring or autumn moisture content of the soil of the roadbed using a mathematically based analysis of weather and climatic factors. An analysis of direct observations of soil humidity and temperature was carried out, during which it was shown that humidity and Selyaninov's hydrothermal coefficient (GTC) are related by a regression equation. As a result, equations were obtained for calculating the relative humidity of the soil in the foothill and mountainous road-climatic regions of southwestern Kyrgyzstan.

Keywords: relative soil humidity, water-thermal regime, road surface, atmospheric precipitation, Selyaninov hydrothermal coefficient (GTC)

References

1. Agroklimaticheskie resursy Oshskoj oblasti Kirgizskoj SSR. L.: Gidrometeoizdat, 1975. 148 s. (In Russian)
2. Prikladnoe znachenie sputnikovoj modeli TMRA pri ustanovlenii normy godovogo kolichestva atmosferynyh osadkov po dorozhno-klimaticheskim zonam na territorii Yugo-Zapadnogo Kyrgyzstana / Efimenko V. N [i dr.] // Vestnik TGASU. 2021. No. 4. S. 144–158. (In Russian)
3. Ryskal' M.O. Ocenka summ osadkov na territorii Kyrgyzstana po dannym sputnikovyh nablyudenij: diss. ... kand. geogr. nauk. Bishkek, 2020. 173 s. (In Russian)
4. Ryskal' M.O. Sputnikovye karty godovyh i sezonnyh summ osadkov dlya territorii Kyrgyzstana // Materialy Mezhdunar. nauch. konf, posvyasch. 15-letiyu CAIIZ "Distancionnye i nazemnye issledovaniya zemli v Central'noj Azii". Bishkek, 2019. S. 206–213. (In Russian)

5. Karimov E.M. Opredelenie raschetnoj vlazhnosti gruntov v estestvennom zaleganii po eksperimental'nym dannym otnositel'no vysotnyh otmetok rel'efa Kyrgyzstana // Vestnik KRSU. 2022. T. 8. No. 12. S. 140–151. (In Russian)
6. Karimov E.M. Vliyanie vodno-teplovogo rezhima na tekhnicheskoe sostoyanie zemlyanogo polotna avtomobil'nyh dorog v usloviyah V dorozhno-klimaticheskoy zony Kyrgyzstana // Vestnik TGASU. 2020. No. 1. S. 193–204. (In Russian)
7. Gnezdilova S.A. Prognozirovanie vlazhnosti gruntov zemlyanogo polotna avtomobil'nyh dorog dlya celej proektirovaniya i ekspluatatsii na territorii Belgorodskoy oblasti // Vestnik BGTU im. V.G. Shuhova. 2015. No. 5. S. 36–38. (In Russian)
8. Efimenko V.N. Vodno-teplovoy rezhim zemlyanogo polotna avtomobil'nyh dorog pri glubokom promerzanii gruntov (na primere yugo-vostoka Zapadnoj Sibiri): diss. ... kand. tekhn. nauk. M., 1978. 216 s. (In Russian)
9. Ponomarenko P. N. Atmosfernye osadki Kirgizii. L.: Gidrometeoizdat, 1976. 129 s. (In Russian)
10. Podrezov O.A. Gornaya klimatologiya i vysotnaya klimaticheskaya zonal'nost' Kyrgyzstana. Bishkek, 2014. 169 s. (In Russian)
11. Vodno-teplovoy rezhim zemlyanogo polotna i dorozhnyh odezhd / pod. red. I.A. Zolotorya, N.A. Puzakova, V.M. Sidenko. M.: Transport, 1971. 416 s. (In Russian)
12. Karimov E.M. Uchet vliyaniya regional'nyh prirodno-klimaticheskikh uslovij na sostoyanie dorozhnyh konstrukcij territorii Yugo-Zapadnoj Kirgizii // Vestnik VolGASU. 2023. No. 1 (90). S. 81–92. (In Russian)
13. Kiyalbaev A. K., Alimgazin B. T., Adygapparov K. Primery opredeleniya raschetnoj vlazhnosti grunta v tele zemlyanogo polotna v usloviyah zasushlivogo klimata // Vestnik KGUSTA. 2016. No. 1 (52). S. 21–26. (In Russian)
14. Afinogenov O.P., Efimenko S.V., Afinogenov A.O. Sovershenstvovanie metodov proektirovaniya avtomobil'nyh dorog na osnove differentsiatsii rajonirovaniya. Kemerovo: Ofset, 2015. 364 s. (In Russian)
15. Karimov E.M., Prognozirovanie raschetnoj vlazhnosti gruntov zemlyanogo polotna avtomobil'nyh dorog pri glubokom zaleganii urovnya gruntovykh vod na territorii yugo-zapadnogo Kyrgyzstana // Vestnik VolGASU. 2024. No. 3 (96). S. 6–14. (In Russian)

Received: 21.10.2024

Accepted: 20.11.2024

Author's information:

E.M. KARIMOV — PhD in Engineering, Associate Professor, Head of the Department of Applied Mechanics in M. M. Adyshev Osh Technological University; karimov.71@mail.ru