

Научная статья

DOI: 10.15593/24111678/2022.04.07

УДК 625

Э.М. Каримов¹, К.Ч. Кожогулов²

¹Ошский технологический университет имени академика М.М. Адышева, Ош, Кыргызстан

²Институт геомеханики и освоения недр НАН КР, Бишкек, Кыргызстан

УСТАНОВЛЕНИЕ ПЕРИОДОВ ИСПАРЕНИЯ И ВЛАГОНАКОПЛЕНИЯ ПОВЕРХНОСТИ ГРУНТА ДЛЯ ДОРОЖНО-КЛИМАТИЧЕСКИХ ЗОН ЮГО-ЗАПАДНОГО КЫРГЫЗСТАНА

Рассматриваются периоды испарения и накопление влаги на поверхности грунта относительно высотных отметок на территории юго-западного Кыргызстана. Учитывая, что прочность и устойчивость грунтов рабочего слоя земляного полотна подвержены влиянию водно-тепловых процессов, считаем рациональными осуществить исследования влагонакопления в дорожных конструкциях, основываясь на данных об осадках на территории Кыргызстана. В задачу входит установление для каждой дорожно-климатической зоны типовых графиков сезонного колебания увлажнения грунта от атмосферных осадных норм и испарения влаги, так как важнейшими источниками почвенной влаги в горной местности являются атмосферные осадки, поступающие на поверхности почвы. Повышение качества проектирования автомобильных дорог за счет более обоснованного учета региональных природно-климатических условий и совершенствование существующих отраслевых нормативных документов Кыргызской Республики с учетом реальных условий эксплуатации особенно важно и актуально. Все инженерные мероприятия по регулированию водно-теплого режима основаны на ограничении доступа влаги в земляное полотно, причем правильное проектирование этих мероприятий возможно, только при условии точного установления периодов испарения и влагонакопления поверхности грунта. Соблюдение этих нормативов и требований, как правило, обеспечивает расчетную прочность одежды и установленные эксплуатационные качества проезжей части дорог. Изучение водно-теплого режима в разные периоды года для сложной местности, а также отражение элементов геоконструкций в климатических зонах таких дорог направлено на повышение качества прочности дорожных конструкций.

Ключевые слова: периоды испарения и накопления влаги, прочность и устойчивость грунтов, водно-тепловой процесс, дорожная конструкция, атмосферная осадная норма, дорожно-климатическая зона, почвенная влага.

E.M. Karimov¹, K.C. Kozhogulov²

¹Osh Technological University named after Academician M.M. Adyshev, Osh, Kyrgyzstan

²Institute of Geomechanics and Subsoil Development of the National Academy of Sciences of the Kyrgyz Republic, Bishkek, Kyrgyzstan

ESTABLISHMENT OF PERIODS OF EVAPORATION AND MOISTURE ACCUMULATION OF THE SOIL SURFACE FOR ROAD-CLIMATIC ZONES OF SOUTH-WESTERN KYRGYZSTAN

The purpose of this research work is to examine the periods of evaporation and accumulation of moisture on the ground surface relative to the elevation marks in the territory of South-Western Kyrgyzstan. Taking into account that strength and stability of soils of the working layer of the roadbed are affected by water-thermal processes, we consider it rational to study moisture accumulation in road structures based on precipitation data on the territory of Kyrgyzstan. The task is to establish for each road-climatic zone typical schedules of seasonal fluctuations in soil moisture from atmospheric precipitation norms and evaporation of moisture, since the most important sources of soil moisture in mountainous areas are precipitation coming on the soil surface. Improving the quality of road design through more reasonable consideration of regional climatic conditions and improving existing industry regulations of the Kyrgyz Republic, taking into account real operating conditions, is especially important and relevant. All the engineering measures to regulate the water-thermal regime are based on limiting the access of moisture to the roadbed, and the correct design of these measures is possible only if the periods of evaporation and moisture accumulation of the soil surface are accurately determined. Compliance with these standards and requirements, as a rule, ensures the calculated durability of road base and the established operational qualities of the roadway. By studying the water-thermal regime in different periods of the year for difficult terrain, as well as fully

mastering the reflection of the elements of the geocomplex in the climatic zones of such roads, it is aimed at improving the quality of the strength of road structures.

Keywords: periods of evaporation and accumulation of moisture, strength and stability of soils, water-thermal process, road construction, atmospheric precipitation norm, road-climatic zone, soil moisture.

Климат Кыргызстана отличается исключительным разнообразием и контрастностью на разных высотных ступенях. Нижние части внешних хребтов испытывают иссушающее влияние окружающих пустынь, тогда как вершины хребтов покрыты вечными снегами и ледниками. Между этими крайними зонами расположены переходные пояса, различные по температуре, осадкам и другим климатическим факторам [1].

Осадки обычно считаются вторым по значимости элементом климата после температуры воздуха. Именно сочетание тепла и влаги является определяющим показателем благоприятности климатических условий. Осадки очень изменчивы во времени и пространстве и поэтому выявление их высотных зависимостей в горах представляет собой трудную задачу при недостаточном объеме исходных данных [2–4].

Все инженерные мероприятия по регулированию основаны на ограничении водно-теплового режима, а также на ограничении доступа влаги в земляное полотно, причем правильное проектирование этих мероприятий осуществляется только при условии тщательного установления источников увлажнения местности [5]. Важной характеристикой является длительность расчетного состояния переувлажнения. Она должна выражаться количеством дней в году, когда можно ожидать переувлажнение для среднемаксимального года. Для каждой зоны должны быть установлены типовые графики сезонного колебания относительной влажности и модули деформации грунта для возможности выбора расчетной даты и состояния грунта в основании [6]. Различные исследования показали, что взаимодействие между поверхностью земли и атмосферой считается сильным в периоды засухи, а также существует обратная связь между влажностью почвы и осадками [7–9]. Основным источником почвенной влаги – это атмосферные осадки, количество и распределение которых во времени зависят от климата данной местности [10–11].

Диаграмма (рис. 1) дает представление о дорожно-климатических зонах по СНиП КР 32-01:2004 «Проектирование автомобильных дорог». При нормировании границ дорожного зонирования территории Кыргызстана в качестве доминирующих признаков были приняты абсолютные высотные отметки рельефа и годовое количество осадков, фиксируемые сетью гидрометеорологических станций [12].

Поэтому изучение и определение схемы цикла водно-теплового режима земляного полотна автомобильных дорог от высотных зависимостей в предгорной и горной местности имеет огромное значение при дорожно-климатическом районировании.

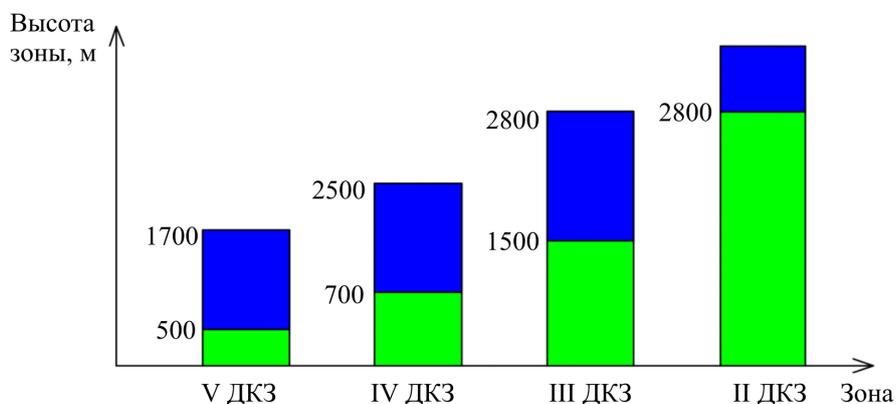


Рис. 1. Распределение на дорожно-климатических зон по значениям абсолютных отметок над уровнем моря (по СНИП КР32-01:2004)

В метеорологической сети ограниченно ведутся инструментальные наблюдения за испарением, в том числе и в рассматриваемых районах. В данной работе для расчета численных значений испарения использован метод определения испарения Шашко, в основе которого лежит определение испарения по среднесуточным дефицитам влажности.

Эмпирическая формула имеет вид:

$$E = 0,45\Sigma d,$$

где d – дефицит влажности.

Для всех исследуемых точек, где имелись метеорологические данные по дефициту влажности, определена испаряемость, для точек, где нет сведений по дефициту влажности, данные определены методом уравнения регрессии. С использованием фактических данных инструментальных измерений испарений и эмпирически расчетных значений, полученных по методу Шашко, получены результаты, представленные на рис. 2.

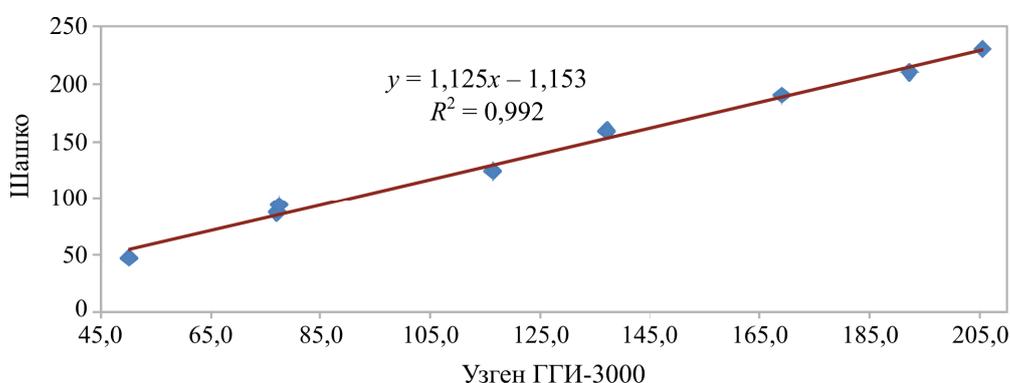


Рис. 2. Точечный график линейной регрессии фактических данных измерений и эмпирически расчетных значений по испарению

На рис. 3 представлен линейный график хода осадков, испарения и период влагонакопления поверхности грунта по многолетним данным инструментальных наблюдений на метеостанции Исфана. Данные по испарению выполнены расчетным способом с применением методики расчета Шашко [13], где основным метеорологическим элементом для расчета является дефицит насыщения водяного пара [14–16].

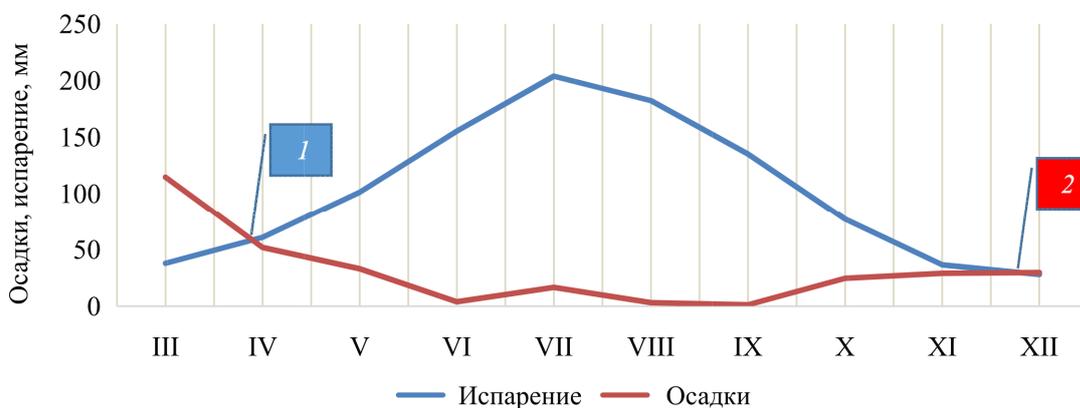


Рис. 3. График хода осадков и испарения и период влагонакопления поверхности грунта

На представленном графике (рис. 3) можно проанализировать ход осадков и испарения, а также период влагонакопления поверхности грунта в течение года, полученные по данным многолетних наблюдений. Выноска на графике с номером 2 в точках пересечения

осадков и испарения указывает на точку равновесного состояния осадков и испарения. После выхода из равновесного состояния начинается период влагонакопления поверхности грунта, средняя дата начала влагонакопления приходится на конец первой и начало второй декады декабря. Это связано с уменьшением испарения с поверхности грунта, которое зависит от понижения температуры воздуха, и увеличением относительной влажности воздуха. Соответственно осадки, выпадающие в осенне-зимний период, начинают накапливаться в грунте, грунт переходит в состояние мягкопластичного состояния, и начинается процесс промерзания по мере перехода температуры почвы через ноль градусов в отрицательную сторону. Таким образом, грунт в состоянии промерзания держится до перехода в мягкопластичное состояние после оттаивания в весенний период в связи с повышением температуры воздуха и почвы.

После равновесного состояния осадков и испарения наступает период окончания влагонакопления (выноска с номером 1 на графике), увеличивается разность между осадками и испарением, на что указывает график хода осадков и испарения. Согласно графику средняя дата окончания влагонакопления приходится на конец первого и начало второй декады апреля, то есть с этого периода накопленная влага в грунте из мягкопластичного состояния переходит в твердое. Это связано с повышением температуры воздуха и увеличением дефицита насыщения водяного пара воздуха, увеличением испарения с поверхности грунта.

Для оценки расчетов проверено соответствие данных на графике глубины промерзания почвы на метеостанции Исфан данным инструментальных наблюдений. Примечательно, что средние даты начала промерзания грунта по многолетним сведениям близки дате начала влагонакопления грунта на представленном графике. Период оттаивания почвы и переход его в мягкопластичное состояние до равновесного состояния осадков и испарения составляет две декады. Через две декады после оттаивания и перехода в мягкопластичное состояние почвы оканчивается период влагонакопления поверхности грунта.

На рис. 4 представлен линейный график хода осадков, испарения и период влагонакопления поверхности грунта по многолетним данным инструментальных наблюдений на метеостанции Наукат. Данные по испарению получены вышеописанным методом, где основным метеорологическим элементом для расчета является дефицит насыщения водяного пара.

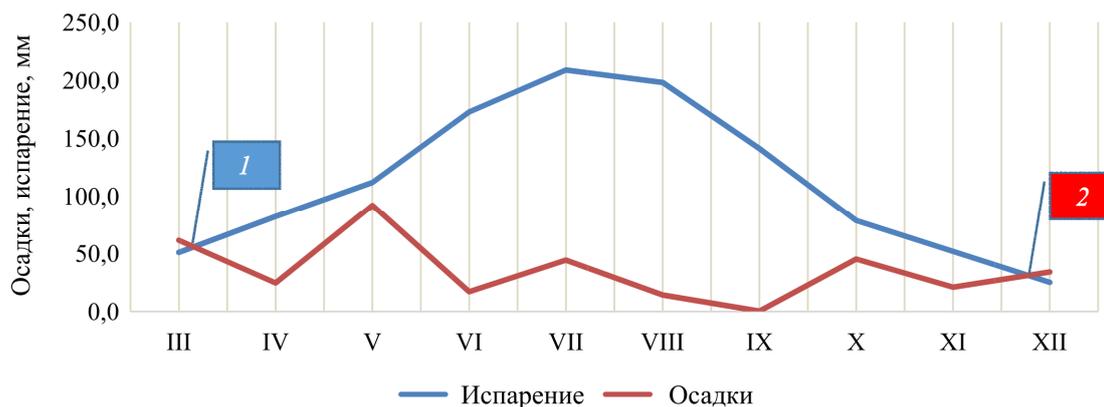


Рис. 4. График хода осадков, испарения и период влагонакопления поверхности грунта перевал Наукат

На представленном графике (см. рис. 4) можно наблюдать ход осадков и испарения, а также период влагонакопления поверхности грунта внутри года по многолетним данным. Выноска на графике с номером 1 в точках пересечения осадков и испарения указывает на точку равновесного состояния осадков и испарения. Средняя дата начала влагонакопления здесь приходится на конец первой декады декабря. Здесь также в связи с уменьшением испарения с поверхности грунта, которая связана с понижением температуры воздуха и увеличе-

нием относительной влажности воздуха, начинается период влагонакопления поверхности грунта. Соответственно выпадающие осадки начинают накапливаться в грунте, грунт переходит в мягкопластичное состояние, и начинается процесс промерзания по мере перехода температуры почвы через ноль градусов в отрицательную сторону. Аналогично, как отмечалось выше, после равновесного состояния осадков и испарения наступает период окончания влагонакопления – выноска с номером 1 на графике. Увеличивается разность между осадками и испарением, что видим на графике хода осадков и испарения. Средняя дата окончания влагонакопления приходится на конец второй декады марта. Соответственно с повышением температуры воздуха и увеличением дефицита насыщения водяного пара воздуха возрастает испарение с поверхности грунта.

Для оценки расчетов проведена проверка соответствия данных на графике данным инструментальных наблюдений за глубиной промерзания почвы по метеостанции Наукат. Средние даты начала промерзания грунта и оттаивания по многолетним данным и дата начала и окончания влагонакопления грунта совпадают.

На рис. 5 представлен график хода осадков, испарения и период влагонакопления поверхности грунта по многолетним данным для перевала Жалал-Абад. Расчет многолетних данных по осадкам и испарению выполнен по уравнениям регрессии с использованием данных инструментальных наблюдений метеостанций Жалал-Абад и Узген.

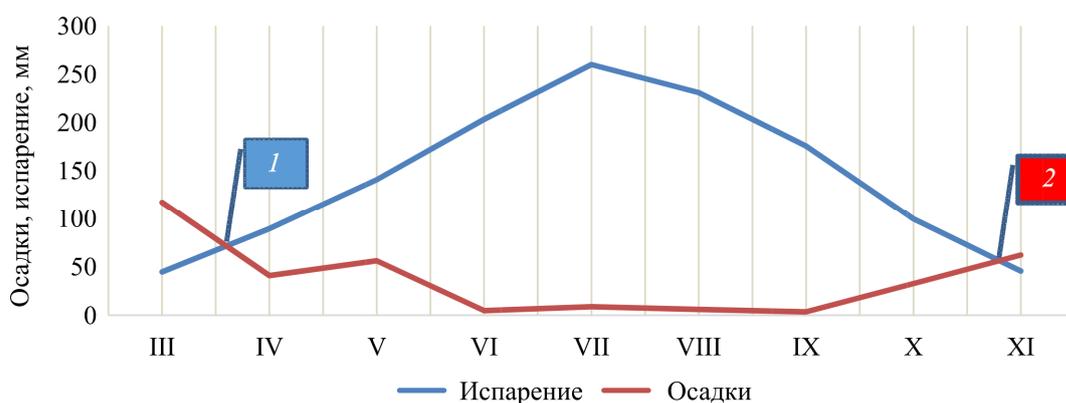


Рис. 5. График хода осадков, испарения и период влагонакопления поверхности грунта перевал Жалал-Абад

Здесь также вышеописанными методами определены периоды влагонакопления поверхности грунта. Выноска под номером 2 на графике указывает на начало периода влагонакопления, что соответствует началу второй декады ноября месяца. Окончание периода влагонакопления приходится к середине первой декады апреля (см. рис. 5, выноска номер 1).

На рис. 6 представлен график хода осадков, испарения и период влагонакопления поверхности грунта по многолетним данным для перевала Чыйырчик. Расчет многолетних данных по осадкам и испарению здесь также выполнены с помощью уравнения регрессии с использованием данных инструментальных наблюдений для метеостанций Сарыташ и Наукат. Выноска под номером 2 на рис. 6 указывает на начало периода влагонакопления, что соответствует началу первой декады ноября месяца. Окончание периода влагонакопления приходится к началу первой декады апреля месяца – выноска номер 1 на графике, рис. 6.

Отметим, что выбранные данные инструментальных наблюдений для метода уравнения регрессии по опорным метеостанциям Сарыташ и Наукат расположены выше и ниже исследуемого района. При регрессионном анализе метеорологических данных Сарыташ и Наукат получены коэффициенты корреляции по разным метеорологическим данным, средний из которых составил 0,88.

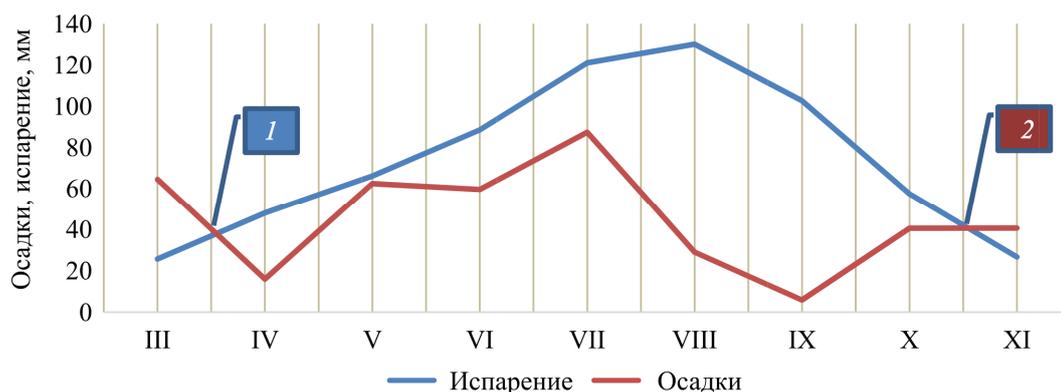


Рис. 6. График хода осадков, испарения и период влагонакопления поверхности грунта

Заключение

В результате проведенных исследований установлены типовые графики для каждой климатической зоны – сезонные колебания увлажнения грунта от атмосферных осадочных норм и испарение влажности.

Влияние климатических условий на дорожные конструкции в сложных в инженерно-геологическом плане районах горной местности очень велико. Поэтому определение значений, характеризующих количество атмосферных осадков, в научно-практическом направлении упрощает решение инженерных задач в дорожной отрасли.

Список литературы

1. Агроклиматические ресурсы Ошской области Киргизской ССР. – Л.: Гидрометеоздат, 1975. – 148 с.
2. Подрезов, О.А. Горная климатология и высотная климатическая зональность Кыргызстана. – Бишкек. 2014. – 169 с.
3. Пономаренко П.Н. Атмосферные осадки Киргизии. – Л.: Гидрометеоздат, 1976. – 129 с.
4. Cheng F.Y., Chen Y. Variations in soil moisture and their impact on land–air interactions during a 6-month drought period in Taiwan // *Geosci. Lett.* – 2018. – Vol. 5. – P. 26.
5. Водно-тепловой режим земляного полотна и дорожных одежд / под. ред. И.А. Золоторя, Н.А. Пузакова, В.М. Сиденко. – М.: Транспорт, 1971. – 415 с.
6. Бируля А.К., Бируля В.И., Носич И.А. Устойчивость грунтов дорожного полотна в степных районах. – М.: Дориздат, 1951. – 176 с.
7. Влияние погодно-климатических факторов на системы комплекса «водитель – автомобиль – дорога – среда» / В.Г. Козлов, А.В. Скрыпников, М.А. Абасов, В.В. Никитин, В.В. Самцов // *Транспорт. Транспортные сооружения. Экология.* – 2019. – № 1. – С. 30–32.
8. Каримов Э.М. Влияние водно-теплого режима на техническое состояние земляного полотна автомобильных дорог в условиях V дорожно-климатической зоны Кыргызстана // *Вестник ТГАСУ.* – 2020. – № 1. – С. 193–204.
9. Технология учёта региональных природно-климатических условий при проектировании транспортных сооружений (на примере территории Западной Сибири) / В.Н. Ефименко, С.В. Ефименко, М.В. Бадина, А.В. Григорьев // *Вестник ТГАСУ.* – 2011. – № 4 (33). – С. 221–227.
10. Принципы безопасности при проектировании, строительстве и эксплуатации горных дорог / К.Ч. Кожогулов, О.В. Никольская, Р.С. Картанбаев, Н.Ч. Сулайманов. – Бишкек: Илим. – 168 с.
11. Изучение климатических особенностей Татарстана для дорожно-климатического районирования / О.А. Логинова, О.А. Петропавловских, Р.В. Николаева, Г.Р. Валева // *Известия Казанской государственной архитектурно-строительной академии.* – 2018. – № 4 (46). – С. 344–50.

12. Особенности Дорожно-климатического районирования территории Юго-Западного Кыргызстана / В.Н. Ефименко, С.В. Ефименко, Э.М. Каримов, К.Ч. Кожоголов // Вестник ТГАСУ. – 2022. – № 2 (24). – С. 161–171.
13. Шашко Д.И. Агроклиматические ресурсы СССР. – Л.: Гидрометеиздат, 1985. – 245 с.
14. Han J., Zhou Z. Dynamics of soil water evaporation during soil drying: laboratory experiment and numerical analysis // *TheScientificWorldJournal*. – 2013. – 240280. DOI: 10.1155/2013/240280.
15. A review of studies on roadbed frozen damage and countermeasures in seasonal frozen ground regions in China / L. Wu, W. Qi, F. Niu, Y. Niu // *Journal of Glaciology and Geocryology*. – 2015. – Vol. 37, no. 5. – P. 1283–1293.
16. Effect of replacing-filling and dewatering-draining measures on frozen characteristics of weak subgrade in cold valley region [J] / WU Li-bo, NIU Fu-jun, LIN Zhan-ju, QI Wei, FENG Wen-jie // *Journal of Traffic and Transportation Engineering*. – 2018. – Vol. 18 (4). – P. 22–23. DOI: 10.19818/j. cnki.1671-1637.2018.04.003

References

1. Агроклиматические ресурсы Ошской области Киргизской ССР [Agroclimatic resources of the Osh region of the Kirghiz SSR]. Leningrad: Gidrometeoizdat, 1975, 148 p.
2. Podrezov O.A. Gornaya klimatologiya i vysochnaya klimaticheskaya zonal'nost' Kirgystana [Mountain climatology and altitudinal climatic zoning of Kyrgyzstan]. Bishkek, 2014, 169 p.
3. Ponomarenko P.N. Atmosfernye osadki Kirgizii [Atmospheric precipitation of Kyrgyzstan]. – Leningrad: Gidrometeoizdat, 1976, 129 p.
4. Cheng, F.Y., Chen, Y. Variations in soil moisture and their impact on land-air interactions during a 6-month drought period in Taiwan, 2018, *Geosci. Lett.* 5, 26. doi: 10.1186/s40562-018-0125-8
5. Zolotar' I.A. [et al.]. Vodno-teplovoy rezhim zemlyanogo polotna i dorozhnykh odezhd [Water-thermal regime of subgrade and pavement]. Moscow, Transport, 1971, 415 p.
6. Birulya, A.K. Ustoichivost' gruntov dorozhnogo polotna v stepnykh raionakh [Soil stability of the roadbed in the steppe regions]. Moscow, Dorizdat, 1951, 176 p.
7. Kozlov V.G., Skrypnikov A.V., Abasov M.A., Nikitin V.V., Samtsov V.V. Vliyanie pogodno-klimaticheskikh faktorov na sistemy kompleksa «voditel'-avtomobil'-doroga-sreda» [Influence of weather and climatic factors on the systems of the complex «driver-car-road-environment»]. *Transport. Transportnye sooruzheniya. Ekologiya*, 2019, no. 1, pp. 30–32.
8. Karimov, E.M. Vliyanie vodno-teplovogo rezhima na tekhnicheskoe sostoyanie zemlyanogo polotna avtomobil'nykh dorog v usloviyakh V dorozhno-klimaticheskoy zony Kirgystana [Influence of the water-thermal regime on the technical condition of the subgrade of highways in the conditions of the V road-climatic zone of Kyrgyzstan]. *Vestnik TGASU*, Tomsk, 2020, no. 1, pp. 193–204.
9. Efimenko V.N., Efimenko S.V., Badina M.V., Grigor'ev A.V. Tekhnologiya ucheta regional'nykh prirodno-klimaticheskikh uslovii pri proektirovaniy transportnykh sooruzheniy (na primere territoriy Zapadnoy Sibiri) [Technology of accounting for regional natural and climatic conditions in the design of transport facilities (on the example of the territory of Western Siberia)]. *Vestnik TGASU*, Tomsk, 2011, no. 4 (33), pp. 221–227.
10. Kozhogulov K.Ch., Nikol'skaya O.V., Kartanbaev R.S., Sulaimanov N.Ch. Printsipy bezopasnosti pri proektirovaniy, stroitel'stve i ekspluatatsii gornykh dorog [Security principles in the design, construction and operation of mountain roads]. Bishkek, Ilim, 168 p.
11. Loginova O.A., Petropavlovskikh O.A., Nikolaeva R.V., Valeva G.R. Izucheniye klimaticheskikh osobennostey Tatarstana dlya dorozhno-klimaticheskogo raionirovaniya [Study of the climatic features of Tatarstan for road-climatic zoning]. *Izvestiya Kazanskoy gosudarstvennoy arkhitekturno-stroitel'noy akademii*, 2018, no. 4 (46), pp. 344–350.
12. Efimenko V.N., Efimenko S.V., Karimov E.M., Kozhogulov K.Ch. Osobennosti Dorozhno-klimaticheskogo raionirovaniya territoriy Iugo-Zapadnogo Kirgystana [Peculiarities of Road-climatic zoning of the territory of South-Western Kyrgyzstan]. *Vestnik TGASU*, Tomsk, 2022, no. 2 (24), pp. 161–171.
13. Shashko, D.I. Агроклиматические ресурсы СССР [Agroclimatic resources of the USSR]. Leningrad, Gidrometeoizdat, 1985, 245 p.
14. Han J., Zhou Z. Dynamics of soil water evaporation during soil drying: laboratory experiment and numerical analysis. *TheScientificWorldJournal*. 2013, 240280. doi: 10.1155/2013/240280.
15. L. Wu, W. Qi, F. Niu, and Y. Niu. A review of studies on roadbed frozen damage and countermeasures in seasonal frozen ground regions in China, *Journal of Glaciology and Geocryology*, vol. 37, no. 5, pp. 1283–1293, 2015.
16. WU Li-bo, NIU Fu-jun, LIN Zhan-ju, QI Wei, FENG Wen-jie. Effect of replacing-filling and dewatering-draining measures on frozen characteristics of weak subgrade in cold valley region[J]. *Journal of Traffic and Transportation Engineering*, 2018, 18 (4): 22–23. doi: 10.19818/j. cnki.1671-1637.2018.04.003

Об авторах

Каримов Эркинбек Машанович (Ош, Кыргызстан) – кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой «Прикладная механика» Ошского технологического университета имени академика М.М. Адышева (Кыргызская Республика, 723503, г. Ош, ул. Н. Исанова, 81, e-mail: erkin.karimov.71@mail.ru).

Кожоголов Камчибек Чонмурунович (Бишкек, Кыргызстан) – доктор технических наук, академик, директор Института геомеханики и освоения недр НАН КР, Институт геомеханики и освоения недр НАН КР (Кыргызская Республика, 720055, г. Бишкек, ул. Медерова, 98, e-mail: k.kozhogulov@mail.ru).

About the authors

Erkinbek M. Karimov (Osh, Kyrgyzstan) – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Head of Applied Mechanics Department, Osh Technological University named after Academician M.M. Adyshev (81, ul. N. Isanov, Osh, 723503, Kyrgyzstan, e-mail: erkin.karimov.71@mail.ru).

Kamchibek Ch. Kozhogulov (Bishkek, Kyrgyzstan) – Doctor of Technical Sciences, Academician, Director of the Institute of Geomechanics and Subsoil Development of the National Academy of Sciences of the Kyrgyz Republic, Institute of Geomechanics and Subsoil Development of the National Academy of Sciences. KR (98, ul. Mederova, Bishkek, 720055, Kyrgyz Republic, e-mail: k.kozhogulov@mail.ru).

Финансирование. Исследование не имело спонсорской поддержки.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Вклад авторов. Вклад авторов равноценен.

Поступила: 06.09.2022

Одобрена: 26.09.2022

Принята к публикации: 28.11.2022

Просьба ссылаться на эту статью в русскоязычных источниках следующим образом: Каримов, Э.М. Установление периодов испарения и влагонакопления поверхности грунта для дорожно-климатических зон юго-западного Кыргызстана / Э.М. Каримов, К.Ч. Кожоголов // Транспорт. Транспортные сооружения. Экология. – 2022. – № 4. – С. 58–65. DOI: 10.15593/24111678/2022.04.07

Please cite this article in English as: Karimov E.M., Kozhogulov K.C. Establishment of periods of evaporation and moisture accumulation of the soil surface for road-climatic zones of south-western Kyrgyzstan. *Transport. Transport facilities. Ecology*, 2022, no. 4, pp. 58-65. DOI: 10.15593/24111678/2022.04.07