

Научная статья
УДК 69.034.96
DOI: <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2025-22-3-478-487>
EDN: DHCFUU



ВЛИЯНИЕ КЛИМАТА НА ПРОЦЕССЫ ПОДТОПЛЕНИЯ И ДРЕНИРОВАНИЯ В ГОРОДСКОМ СТРОИТЕЛЬСТВЕ

В.И. Сологаев

Сибирский государственный автомобильно-дорожный университет (СибАДИ),

г. Омск, Россия

sologaev_vi@cdo.sibadi.org

АННОТАЦИЯ

Введение. Подтопление подземными водами застроенных и застраиваемых территорий городов является неблагоприятным процессом в нашей стране и во всем мире. Уровень подземных вод (УПВ) повышается к поверхности земли. Последствия повышения УПВ опасны для человека и окружающей среды. Дренажирование городских территорий приводит к понижению УПВ. Дренажные системы являются активной защитой от подтопления подземными водами. Климат оказывает влияние на процессы подтопления и дренажирования в городском строительстве. Это влияние до сих пор мало учитывается в действующих строительных нормативах и расчетных методиках для проектировщиков, строителей и работников служб эксплуатации городского хозяйства. Накопилось много материалов, которые требуют научного опубликования вследствие их актуальности по дальнейшему совершенствованию борьбы с подтоплением подземными водами территорий городов и населенных пунктов с учетом климата. Ежегодно во всем мире наблюдаются ситуации неэффективной экстенсивной защиты от подтопления при его внезапном наступлении. Необходимо усиление роли научных подходов в решении выбора надлежащих мероприятий защиты от подтопления. Немалую лепту в этом направлении может внести учет влияния климата на процессы подтопления и дренажирования в городском строительстве.

Методы и материалы. Городская техногенная среда обитания существенно отличается от природной среды до застройки больше всего при подтоплении и дренажировании территорий, зданий и сооружений. Поэтому теория фильтрации в городском строительстве нуждается в совершенствовании методологии прогноза, расчета и моделирования подтопления и дренажирования, особенно с учетом климата городов, что пока почти не принимается во внимание при разработке защитных мероприятий. В настоящей работе представлены новые идеи и их реализация по заявленной теме исследования. Это открывает новое направление научной методологии, связанной с защитой от подтопления в городском строительстве с учетом климата. Данные идеи невозможно реализовать в одной статье, так как тема весьма обширная. Поэтому в дальнейшем предполагается выход других научных публикаций по намеченной тематике, запланированных как направление перспективных и актуальных научных исследований.

Обсуждение. В ходе проведенного исследования были рассмотрены характеристики климата города, которые могут влиять на процессы подтопления и дренажирования подземных вод на застраиваемых и застроенных территориях. Воздействие солнца весьма существенно. Солнечные лучи, проходя через атмосферу, оказывают влияние на режим подземных вод. Доля солнечной энергии на несколько порядков превышает влияние температурного градиента, поступающего из глубины недр земли к земной поверхности. Воздействие солнечных лучей выражается в виде солнечной радиации. При этом влияние оказывает альbedo облучаемых поверхностей. Городская застройка создает существенное затенение поверхности грунта с последующим уменьшением испарения и увеличением инфильтрации влаги к подземным водам. Ветровой режим застройки меняется. Это учтено в представленной методологии статьи, даны необходимые зависимости и примеры расчета уменьшения испаряемости воды из грунтов оснований зданий и сооружений. Рассмотрены новые экспериментальные измерения по теме исследования, а также оригинальные приборы и средства измерения автора.

Заключение. Таким образом, открыто новое направление научной методологии, связанной с защитой от подтопления в городском строительстве с учетом изменения климата техногенной среды застраиваемых и застроенных территорий городов. Представленную работу следует рассматривать как дающую в первом приближении новую методологию учета влияния климата на процессы подтопления и дренажирования в городском строительстве. Поэтому в дальнейшем предполагается выход других научных публикаций по намеченной тематике, запланированных в направлении перспективных и актуальных научных исследований.

© Сологаев В.И., 2025



Контент доступен под лицензией
Creative Commons Attribution 4.0 License.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: климат, подтопление, дренирование, подземные воды, солнечная энергия, альбедо, испаряемость, ветер, городское строительство

Статья поступила в редакцию 14.05.2025; одобрена после рецензирования 10.06.2025; принята к публикации 16.06.2025.

Автор прочитал и одобрил окончательный вариант рукописи.

Прозрачность финансовой деятельности: автор не имеет финансовой заинтересованности в представленных материалах и методах. Конфликт интересов отсутствует.

Для цитирования: Сологаев В.И. Влияние климата на процессы подтопления и дренирования в городском строительстве // Вестник СиБАДИ. 2025. Т. 22, № 3. С. 478-487. <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2025-22-3-478-487>

Original article

DOI: <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2025-22-3-478-487>

EDN: DHCFUU

CLIMATE INFLUENCE ON FLOODING AND DRAINAGE PROCESSES IN URBAN CONSTRUCTION

Valery I. Sologaev

*The Siberian State Automobile and Highway University (SibADI),
Omsk, Russia*

sologaev_vi@cdo.sibadi.org

ABSTRACT

Introduction. Flooding of built-up and developing city areas with groundwater is an unfavorable process in our country and around the world. The groundwater level (GWL) rises to the surface of the earth. The consequences of increasing the groundwater level are dangerous for humans and the environment. Drainage of urban areas leads to a decrease in groundwater level. Drainage systems are an active protection against flooding with groundwater. Climate affects the processes of flooding and drainage in urban construction. This influence is taken into account too little in the current building codes and calculation methods for designers, builders and employees of urban services. A lot of materials have been accumulated that require scientific publication due to their relevance for further improvement ways to withstand flooding of urban and populated areas with groundwater with climate considering. Ineffective situations of extensive protection against sudden onset flooding are observed all over the world every year. It is necessary to strengthen the role of scientific approaches in making the choice of appropriate measures to keep safe against flooding. Paying attention to the climate influence on flooding and drainage processes in urban construction can make a significant contribution in this direction.

Methods and materials. The urban man-made environment differs considerably from the natural before construction, most of all in flooding and drainage of territories, buildings and structures. Therefore, the theory of filtration in urban construction requires improvement of the methodology of forecasting, calculating and modeling flooding and drainage, especially paying attention to the climate of cities, which is still almost not taken into account in the development of protective measures. This paper presents new ideas and their implementation on the stated research theme. This opens a new direction of scientific methodology related to flood protection in urban construction with the consideration of climate influence. New ideas cannot be implemented in one article, since the problem is very extensive. Therefore, in the future, it is expected that other scientific studies will be published on this current theme, planned as a direction of promising and relevant scientific research.

Discussion. In the course of the study, the characteristics of the city climate that can affect the processes of flooding and drainage of groundwater in built-up and developing city areas has been considered.

The impact of the Sun is very significant. Sun rays, passing through the atmosphere, affect the groundwater regime. The share of solar energy is several times of magnitude greater than the influence of the temperature gradient coming from the depths of the Earth to the earth's surface. The impact of sunlight is expressed in the form of solar radiation. In this case, the albedo of the irradiated surfaces has an effect. Urban development creates significant shading of the soil surface with a subsequent decrease in evaporation and an increase in moisture infiltration to groundwater. The wind regime of the development changes. This has been taken into account in the presented methodology of the article, the necessary dependencies and examples of calculating the reduction of water evapo-

© Sologaev V.I., 2025



Content is available under the license
Creative Commons Attribution 4.0 License.

ration from the soils of the foundations of buildings and structures are given. New experimental measurements on the theme of the study, as well as author's innovative devices and instruments have been considered.

Conclusion. Thus, a new direction of scientific methodology related to protection from flooding in urban construction has been discovered, taking into account the climate change of the technogenic environment of the built-up and developing city areas. The presented work should be considered as a pioneering article, giving in the first approximation a new methodology for the considering the influence of climate on the processes of flooding and drainage in urban construction. Therefore, in the future, it is expected that other scientific works will be published on this acute topic, planned in the direction of promising and relevant scientific research.

KEYWORDS: climate, flooding, drainage, groundwater, solar energy, albedo, evaporation, wind, urban construction

The article was submitted: April 02, 2025; approved after reviewing: May 16, 2025; accepted for publication: June 16, 2025.

All authors have read and approved the final manuscript.

Financial transparency: the authors have no financial interest in the presented materials or methods. There is no conflict of interest.

For citation. Sologae V.I. Climate influence on flooding and drainage processes in urban construction. *The Russian Automobile and Highway Industry Journal*. 2025; 22 (3): 478-487. <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2025-22-3-478-487>

ВВЕДЕНИЕ

Подтопление подземными водами застроенных и застраиваемых территорий городов является неблагоприятным процессом в нашей стране и во всем мире. Уровень подземных вод (УПВ) повышается к поверхности земли. Последствия повышения УПВ опасны для человека и окружающей среды. Дренажирование городских территорий приводит к понижению УПВ. Дренажные системы являются активной защитой от подтопления подземными водами. Климат оказывает влияние на процессы подтопления и дренажирования в городском строительстве. Это влияние до сих пор мало учитывается в действующих строительных нормативах и расчетных методиках для проектировщиков, строителей и работников служб эксплуатации городского хозяйства. Накопилось много материалов, которые требуют научного опубликования вследствие их актуальности по дальнейшему совершенствованию борьбы с подтоплением подземными водами территорий городов и населенных пунктов с учетом климата. Ежегодно во всем мире наблюдаются ситуации неэффективной экстенсивной защиты от подтопления при его внезапном наступлении. Необходимо усиление роли научных подходов в решении выбора надлежащих мероприятий защиты от подтопления. Немалую лепту в этом направлении может внести учет влияния климата на процессы подтопления и дренажирования в городском строительстве.

МЕТОДЫ И МАТЕРИАЛЫ

Городская техногенная среда обитания существенно отличается от природной среды

до застройки больше всего при подтоплении и дренажировании территорий, зданий и сооружений. Поэтому теория фильтрации в городском строительстве нуждается в совершенствовании методологии прогноза, расчета и моделирования подтопления и дренажирования, особенно с учетом климата городов, что пока почти не принимается во внимание при разработке защитных мероприятий. В настоящей работе представлены новые идеи и их реализация по заявленной теме исследования. Это открывает новое направление научной методологии, связанной с защитой от подтопления в городском строительстве с учетом климата. Данные идеи невозможно реализовать в одной статье, так как тема весьма обширная. Поэтому в дальнейшем предполагается выход других публикаций по намеченной тематике, в качестве направления перспективных и актуальных научных исследований. Представленную работу следует рассматривать как дающую в первом приближении новую методологию учета влияния климата на процессы подтопления и дренажирования в городском строительстве.

Влияние климата на подтопление и дренажирование в городском строительстве в такой точной формулировке у предшествующих исследователей в нашей стране и за рубежом в обзоре публикаций не встречено.

Можно лишь заметить косвенные совпадения по некоторым особенностям, связанным с климатом, подтоплением, дренажированием, подземными водами, солнечной энергией, альбедо, испаряемостью воды, ветром в городском строительстве.

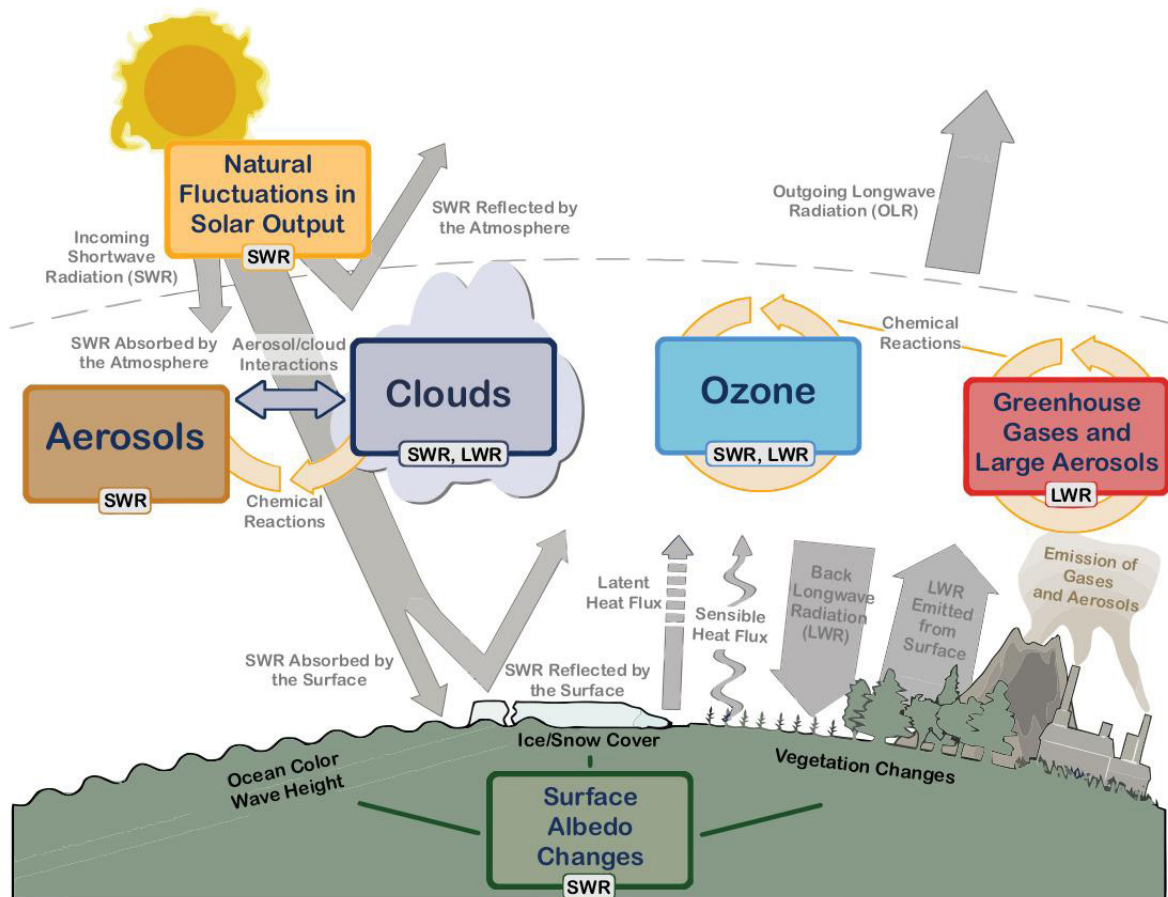


Рисунок – Основные факторы изменения климата [5]

Figure – Main drivers of climate change [5]

В последние годы на эту тему опубликовано несколько коллективных монографий [1, 2, 3, 4, 5], а также научных статей [6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16]. В данном разделе постараемся собрать особенности воедино, опираясь на труды предшественников и собственные разработки.

На рисунке показаны основные факторы изменения климата [5]. Обратим внимание, что подземные воды тут не упомянуты.

Уровень подземных вод (УПВ) при повышении приводит к подтоплению. Понижение УПВ является дренированием. Много городов расположены на равнинах и в долинах. Если подземные воды имеют свободную поверхность, если выше УПВ располагается зона аэрации и подземный горизонт существует круглый год, то такие воды называют грунтовыми. Грунт

зоны аэрации выше УПВ, но ниже уровня земли, имеет лишь частичное заполнение пор водой. Также там присутствует и воздух. Поэтому через зону аэрации происходит испарение воды с поверхности УПВ в атмосферу. Для таких условий в работе [17] была представлена формула для испарения воды с поверхности УПВ e , м/сут, в виде

$$e = e_0 \cdot [(1 - z)/z_0]^n. \quad (1)$$

Здесь e_0 – испаряемость, м/сут; z – расстояние от уровня земли до УПВ, м; z_0 – предельное расстояние от уровня земли до УПВ, при котором испарение исчезает, м; n – коэффициент, обычно равный 2, согласно работе [17].

Величину z_0 , м, можно определить по формуле В.А. Ковды [17] так:

$$z_0 = 1,7 + 0,08 \cdot T, \quad (2)$$

где T – температура атмосферного воздуха, средняя в течение года, $^{\circ}\text{C}$.

Испаряемость e_0 обычно измеряют на метеорологических станциях в городах, при условии, если они имеются. Наличие в городе действующих метеорологических станций сети Росгидромета РФ можно найти в свободном доступе в сети Интернет.

Испаряемость e_0 не нормирована в строительных сводах правил. Величину испаряемости e_0 можно определить по мере возможности, например для Сибири, приближённо по монографиям [18, 19].

Нашим предложением по новой методологии является введение дополнительной величины уточнённого значения испаряемости $e_{\text{гс}}$, м/сут, для конкретных условий в городском строительстве. Предлагаем величину испаряемости в городском строительстве определять так:

$$e_{\text{гс}} = K_a \cdot K_T \cdot K_B \cdot e_0. \quad (3)$$

Здесь K_a – коэффициент изменения испаряемости с учётом альбеда; K_T – коэффициент изменения испаряемости с учётом тени здания или сооружения; K_B – коэффициент изменения испаряемости по причине изменчивости скорости ветра в застройке; остальные обозначения оговорены выше.

Следуя идеям работ [20, 21, 22], можно приближённо записать значение испаряемости в виде

$$e_0 = R_M / L_{\text{и}}. \quad (4)$$

Здесь R_M – солнечная радиация по данным метеорологической станции в городе, МДж/м²; $L_{\text{и}}$ – константа удельной теплоты испарения для воды, её значение 2,512 МДж/(м²·мм).

Испаряемость в городском строительстве запишем аналогично:

$$e_{\text{гс}} = R_{\text{гс}} / L_{\text{и}}. \quad (5)$$

Здесь $R_{\text{гс}}$ – солнечная радиация на стройплощадке, МДж/м².

Сопоставляя формулы (3), (4) и (5), с учётом терминов для климата, перечисленных в работе [19], выразим безразмерный коэффициент изменения альбеда

$$K_a = [R_{\text{кв}} \cdot (1 - a_{\text{гс}}) / (1 - a_M) - I] / R_M. \quad (6)$$

Здесь $R_{\text{кв}}$ – солнечная радиация коротковолновая, МДж/м²; $a_{\text{гс}}$ – альbedo грунта или материала на стройплощадке; a_M – альbedo грунта или материала на метеорологической станции; I – эффективное излучение, МДж/м².

Учитывая труды Д. Дальтона (John Dalton) и работу¹, выразим безразмерный коэффициент изменения испаряемости влаги в условиях тени здания или сооружения в городе так:

$$K_T = (u_{tT} - u_2) / (u_{tC} - u_2). \quad (7)$$

Здесь u_{tC} – максимальная упругость влаги при температуре грунта или материала при облучении солнцем; u_{tT} – то же при температуре грунта или материала в условиях затенения; u_2 – упругость влаги атмосферного воздуха на расстоянии 2 м от уровня земли по данным метеостанции.

По формуле (7) можно определить изменение испаряемости влаги в условиях тени здания для периодов времени в течение месяца. Для суточного интервала времени летом при температуре атмосферного воздуха у поверхности земли в диапазоне от +10 $^{\circ}\text{C}$ до +30 $^{\circ}\text{C}$ по нашим опытным данным вместо формулы (7) следует воспользоваться зависимостью из работы [23] в виде

$$K_T = [(u_{tT} - u_2) / (u_{tC} - u_2)]^{0,8}. \quad (8)$$

Коэффициент изменения испаряемости по причине изменчивости скорости ветра в застройке, учитывая работу², имеет вид

$$K_B = (1 + 0,72 \cdot V_3) / (1 + 0,72 \cdot V_M). \quad (9)$$

Здесь V_3 – ветровая скорость на застроенной территории; V_M – ветровая скорость, измеренная на метеорологической станции города.

¹ Указания по расчету испарения с поверхности водоёмов // ГГИ Гидрометслужбы СССР. Ленинград: Гидрометеиздат, 1969. 84 с.

² Там же.

Значение ветровой скорости на застроенной территории V_z может быть получено разными способами. Одним из способов являются экспериментальные замеры V_z в застройке. Этот способ надёжный и непосредственный. Другой способ состоит в компьютерном моделировании методами CFD – Computational Fluid Dynamics, то есть методами вычислительной динамики флюидов, прикладной аэродинамики. Способ этот приближённый, численный, но хорошо дополняет первый, экономит силы и средства, по-новому, по-современному. Наиболее свежий обзор методов CFD приведен в работе [24], где подчеркнуто, что машинное обучение ускоряет инженерное моделирование вычислительной гидродинамики для антропогенных сред. Машинное обучение – это средство создания моделей данных согласно работам [25, 26].

ОБСУЖДЕНИЕ

В ходе проведенного исследования были рассмотрены характеристики климата города, которые могут влиять на процессы подтопления и дренирования подземных вод на застраиваемых и застроенных территориях. Воздействие солнца весьма существенно. Солнечные лучи, проходя через атмосферу, оказывают влияние на режим подземных вод. Доля солнечной энергии на несколько порядков превышает влияние температурного градиента, поступающего из глубины земных недр к поверхности. Воздействие солнечных лучей выражается в виде солнечной радиации. При этом влияние оказывает альбедо облучаемых поверхностей. Городская застройка создает существенное затенение поверхности грунта с последующим уменьшением испарения и увеличением инфильтрации влаги к подземным водам. Ветровой режим застройки меняется. Это учтено в представленной методологии статьи, даны необходимые зависимости и примеры расчёта уменьшения испаряемости воды из грунтов оснований зданий и сооружений. Рассмотрены новые экспериментальные измерения по теме исследования, а также оригинальные приборы и средства измерения автора.

Приборы были сконструированы для измерения:

- 1) альбедо грунтов и строительных материалов;
- 2) испаряемости в тени зданий и сооружений;
- 3) скорости ветра на объектах застройки городов.

Прибор для измерения альбедо грунтов и строительных материалов состоял из альбедометра английского типа на фотоэлементах, генерирующих слабый электрический ток, деревянного шеста и миллиамперметра. Альбедометр был укреплен на деревянном шесте длиной 2 м. От альбедометра на одном конце шеста шли толстые изолированные медные провода с малым электрическим сопротивлением. На другом конце шеста был расположен чувствительный миллиамперметр для измерения величины электрического тока, вырабатываемого альбедометром. Ток пересчитывался в величину альбедо грунта или строительного материала. Для влажного асфальтового покрытия в г. Омске, после дождя на солнце, величина альбедо составила 5%. Для сухого асфальтового покрытия на солнце – 15%. Эти значения были сравнены с данными из работы³, где величины соответственно составили 10 и 30%, то есть оказались, возможно, завышенными. Для сравнения, в работе исследователя из США [27] альбедо влажного асфальтового покрытия равно 5%, что совпадает с данными наших экспериментальных измерений альбедо в г. Омске. При этом погрешность прибора не превышала 5%.

Прибор для измерения испаряемости в тени зданий и сооружений основывался на показаниях двух термометров, сухого и влажного, был снабжен таблицей температур, измеренных упомянутыми двумя термометрами, значение влажности воздуха было пересчитано по таблицам термодинамических характеристик воды. Погрешность прибора составила не более 5%.

Прибор для измерения скорости ветра на объектах застройки городов был сконструирован нами, следуя Г.И. Вильду, по работе [28]. У нас не было чертежей и расчётов предыдущего исследователя. Поэтому все элементы данного прибора, состоящего из маятниковой рейки, отклоняющейся на определённый угол

³ Справочник по климату СССР. Ч. I. Солнечная радиация, радиационный баланс и солнечное сияние. Вып. 17. Омская и Тюменская обл. Ленинград: Гидрометеиздат, 1966. 72 с.

под влиянием ветра на фоне криволинейной шкалы от 1 до 20 м/с, были рассчитаны нами заново, пользуясь аэродинамическими сопротивлениями по справочнику И.Е. Идельчика. Данный прибор был многократно проверен со студентами на лабораторных занятиях по аэродинамике с натурными обследованиями застройки. В ходе лабораторных работ ветер создавали вентилятором с тремя значениями скоростей. Контрольной проверкой прибора был аэродинамический расчёт на опрокидывание модели высотной преграды. В 95 случаях из 100 расчёт подтвердился, погрешность прибора не превысила 5%.

Покажем пример использования нашей методологии, изложенной с помощью расчётных формул (3)–(9). Исследование проводим для г. Омска, крупного города Западной Сибири.

В месяце июле в г. Омске после выпадения дождя для влажных асфальтовых покрытий, с учетом параметров актинометрии из работы [18], находим по формуле (6) безразмерный коэффициент изменения альбедо:

$$K_a = [520 \cdot (1 - 0,05)/(1 - 0,25) - 180]/340 = 1,41.$$

По формуле (7), принимая климатические данные из работ^{4,5,6}, рассчитываем безразмерный коэффициент изменения испаряемости влаги в условиях тени здания или сооружения в г. Омске так:

$$K_T = (21,03 - 14,3)/(35,68 - 14,3) = 0,32.$$

По формуле (9), с учётом работы [28] и действующего свода правил по строительной климатологии, определяем коэффициент изменения испаряемости по причине изменчивости скорости ветра в пределах застройки г. Омска:

$$K_B = (1 + 0,72 \cdot 0,37)/(1 + 0,72 \cdot 3,7) = 0,35.$$

Окончательно по формуле (3) рассчитываем величину испаряемости после до-

ждя в июле в г. Омске в тени здания или сооружения:

$$e_{гс} = 1,41 \cdot 0,32 \cdot 0,35 \cdot 139 = 22 \text{ мм.}$$

Сравним полученную последнюю величину с испаряемостью 139 мм по данным метеорологической станции г. Омска. Отличие примерно в $139/22 = 6,3$ раза, то есть весьма существенное.

Дальнейшие расчёты могут быть выполнены по формуле (1) для испарения воды с поверхности УПВ при работе дренажа – основного активного защитного мероприятия от подтопления в городском строительстве.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, открыто новое направление научной методологии, связанной с защитой от подтопления в городском строительстве с учетом изменения климата техногенной среды застраиваемых и застроенных территорий городов. Представленную работу следует рассматривать как дающую в первом приближении новую методологию учета влияния климата на процессы подтопления и дренаживания в городском строительстве. Поэтому в дальнейшем предполагается выход других научных публикаций по намеченной тематике, запланированных в направлении перспективных и актуальных научных исследований.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Chang H., Ross A.R. Climate Change, Urbanization, and Water Resources. Portland : Springer, 2024. 198 p. DOI: <https://doi.org/10.1007/978-3-031-49631-8>
2. Kumareswaran K., Jayasinghe G.Y. Green Infrastructure and Urban Climate Resilience. Switzerland: Springer, 2023. 410 p. DOI: <https://doi.org/10.1007/978-3-031-37081-6>
3. Paolini R., Santamouris M. Urban Climate Change and Heat Islands. Amsterdam, Cambridge, Oxford: Elsevier, 2023. 353 p. DOI: <https://doi.org/10.1016/C2018-0-04618-6>
4. Pathak B., Dubey R.S. Climate Change and Urban Environment Sustainability. Singapore: Spring-

⁴ Справочник по климату СССР. Ч. I. Температура воздуха. Вып. 17. Омская и Тюменская обл. Метеорологические данные за отдельные годы. Ленинград: Гидрометеиздат, 1972. 256 с.

⁵ Справочник по климату СССР. Ч. IV. Влажность воздуха, атмосферные осадки, снежный покров. Вып. 17. Омская и Тюменская обл. Ленинград: Гидрометеиздат, 1968. 260 с.

⁶ Справочник по климату СССР. Ч. VIII. Температура поверхности почвы. Вып. 17. Омская и Тюменская обл. Метеорологические данные за отдельные годы. Ленинград: Гидрометеиздат, 1976. Т. 1. 254 с.

er, 2023. 330 p. DOI: <https://doi.org/10.1007/978-981-19-7618-6>

5. Sharifi A., Khavarian-Garmsir A.R. Urban Climate, Adaptation and Mitigation. Amsterdam, Cambridge, Oxford: Elsevier, 2023. 378 p. DOI: <https://doi.org/10.1016/C2020-0-01553-7>

6. Giannini L.M., Younsi S., Burchini B., Deiana R., Cassiani G., Ciampi P. Integrating geophysical methods, InSAR, and field observations to address geological hazards and buried archaeological features in urban landscapes // Journal of Applied Geophysics. 2025. V. 238. P. 105726. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jappgeo.2025.105726>

7. Martinez S., Vellei M., Rendu M., Brangeon B., Griffon C., Bozonnet E. A methodology to bridge urban shade guidelines with climate metrics // Sustainable Cities and Society. 2025. V. 124. P. 106322. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scs.2025.106322>

8. Shen P., Li Y., Gao X., Chen S., Cui X., Zhang Y., Zheng X., Tang H., Wang M. Climate adaptability of building passive strategies to changing future urban climate // Nexus Review. 2025. V. 2. I. 2. P. 100061. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ynexs.2025.100061>

9. Shen P., Li Y., Gao X., Zheng Y., Huang P., Lu A., Gu W., Chen S. Recent progress in building energy retrofit analysis under changing future climate // Applied Energy. 2025. V. 383. P. 125441. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2025.125441>

10. Shen P., Wang M., Liu J., Ji Y. Hourly air temperature projection in future urban area by coupling climate change and urban heat island effect // Energy and Buildings. 2023. V. 279. P. 112676. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2022.112676>

11. Liu S., Wang Y., Liu X., Yang L., Zhang Y., He J. How does future climatic uncertainty affect multi-objective building energy retrofit decisions? Evidence from residential buildings in subtropical Hong Kong // Sustainable Cities and Society. 2023. V. 92. P. 104482. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scs.2023.104482>

12. Fernandes M., Coutinho B., Rodrigues E. The impact of climate change on an office building in Portugal: Measures for a higher energy performance // Journal of Cleaner Production. 2024. V. 445. P. 141255. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2024.141255>

13. Abdeen A., Mushtaha E., Hussien A., Ghenaï C., Maksoud A., Belpoliti V. Simulation-based multi-objective genetic optimization for promoting energy efficiency and thermal comfort in existing buildings of hot climate // Results in Engineering. 2024. V. 21. P. 101815. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rineng.2024.101815>

14. Li J., Zhai Z., Li H., Ding Y., Chen S. Climate change's effects on the amount of energy used for cooling in hot, humid office buildings and the solutions // Journal of Cleaner Production. 2024. V. 442. P. 140967. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2024.140967>

15. Tomrukcu G., Ashrafiyan T. Climate-resilient building energy efficiency retrofit: Evaluating climate change impacts on residential buildings // Energy and Buildings. 2024. V. 316. P. 114315. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2024.114315>

16. Shen P. Building retrofit optimization considering future climate and decision-making under various mindsets // Journal of Building Engineering. 2024. V. 96. P. 110422. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2024.110422>

17. Аверьянов С.Ф. Фильтрация из каналов и ее влияние на режим грунтовых вод: монография. М.: Колос, 1982. 238 с.

18. Карнацевич И.В. Расчеты тепловых и водных ресурсов малых речных водосборов на территории Сибири: монография. Ч. I. Теплоэнергетические ресурсы климата и климатических процессов. Омск: ОмСХИ, 1989. 76 с.

19. Карнацевич И.В. Расчеты тепловых и водных ресурсов малых речных водосборов на территории Сибири: монография. Ч. II. Водный баланс и водные ресурсы. Омск: ОмСХИ, 1991. 84 с.

20. Будыко М.И. Испарение в естественных условиях: монография. Ленинград: Гидрометеоздат, 1948. 136 с.

21. Будыко М.И. Тепловой баланс земной поверхности: монография. Ленинград: Гидрометеоздат, 1956. 255 с.

22. Харченко С.И. Управление водным режимом на мелиорируемых землях в нечерноземной зоне (гидрологические аспекты): монография. Ленинград: Гидрометеоздат, 1987. 240 с.

23. Ретхати Л. Грунтовые воды и строительство: монография. М.: Стройиздат, 1989. 432 с.

24. Caron C., Lauret P., Bastide A. Machine Learning to speed up Computational Fluid Dynamics engineering simulations for built environments: A review // Building and Environment. 2025. V. 267. P. 112229. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2024.112229>

25. Вандер П.Д. Python для сложных задач: наука о данных: монография. СПб: Питер, 2025. 592 с.

26. Куликова И.В. Нейросети на Python. Основы ИИ и машинного обучения: монография. СПб: Наука и техника, 2025. 304 с.

27. Ландсберг Г.Е. Климат города: монография. Ленинград: Гидрометеоздат, 1983. 248 с.

28. Реттер Э.И. Архитектурно-строительная аэродинамика: монография. М.: Стройиздат, 1984. 294 с.

REFERENCES

1. Chang H., Ross A.R. *Climate Change, Urbanization, and Water Resources*. Portland: Springer, 2024. 198 DOI: <https://doi.org/10.1007/978-3-031-49631-8>

2. Kumareswaran K., Jayasinghe G.Y. *Green Infrastructure and Urban Climate Resilience*. Swit-

- zerland: Springer, 2023: 410. DOI: <https://doi.org/10.1007/978-3-031-37081-6>
3. Paolini R., Santamouris M. *Urban Climate Change and Heat Islands*. Amsterdam, Cambridge, Oxford: Elsevier, 2023: 353. DOI: <https://doi.org/10.1016/C2018-0-04618-6>
 4. Pathak B., Dubey R.S. *Climate Change and Urban Environment Sustainability*. Singapore: Springer, 2023: 330. DOI: <https://doi.org/10.1007/978-981-19-7618-6>
 5. Sharifi A., Khavarian-Garmsir A.R. *Urban Climate, Adaptation and Mitigation*. Amsterdam, Cambridge, Oxford: Elsevier, 2023: 378. DOI: <https://doi.org/10.1016/C2020-0-01553-7>
 6. Giannini L.M., Younsi S., Burchini B., Deiana R., Cassiani G., Ciampi P. Integrating geophysical methods, InSAR, and field observations to address geological hazards and buried archaeological features in urban landscapes. *Journal of Applied Geophysics*. 2025; V. 238: 105726. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jappgeo.2025.105726>
 7. Martinez S., Vellei M., Rendu M., Brangeon B., Griffon C., Bozonnet E. A methodology to bridge urban shade guidelines with climate metrics. *Sustainable Cities and Society*. 2025; V. 124: 106322. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scs.2025.106322>
 8. Shen P., Li Y., Gao X., Chen S., Cui X., Zhang Y., Zheng X., Tang H., Wang M. Climate adaptability of building passive strategies to changing future urban climate. *Nexus Review*. 2025; V. 2. I. 2: 100061. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ynexs.2025.100061>
 9. Shen P., Li Y., Gao X., Zheng Y., Huang P., Lu A., Gu W., Chen S. Recent progress in building energy retrofit analysis under changing future climate. *Applied Energy*. 2025; V. 383: 125441. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2025.125441>
 10. Shen P., Wang M., Liu J., Ji Y. Hourly air temperature projection in future urban area by coupling climate change and urban heat island effect. *Energy and Buildings*. 2023; V. 279: 112676. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2022.112676>
 11. Liu S., Wang Y., Liu X., Yang L., Zhang Y., He J. How does future climatic uncertainty affect multi-objective building energy retrofit decisions? Evidence from residential buildings in subtropical Hong Kong. *Sustainable Cities and Society*. 2023; V. 92: 104482. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scs.2023.104482>
 12. Fernandes M., Coutinho B., Rodrigues E. The impact of climate change on an office building in Portugal: Measures for a higher energy performance. *Journal of Cleaner Production*. 2024; V. 445: 141255. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2024.141255>
 13. Abdeen A., Mushtaha E., Hussien A., Ghennai C., Maksoud A., Belpoliti V. Simulation-based multi-objective genetic optimization for promoting energy efficiency and thermal comfort in existing buildings of hot climate. *Results in Engineering*. 2024; V. 21: 101815. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rineng.2024.101815>
 14. Li J., Zhai Z., Li H., Ding Y., Chen S. Climate change's effects on the amount of energy used for cooling in hot, humid office buildings and the solutions. *Journal of Cleaner Production*. 2024; V. 442: 140967. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2024.140967>
 15. Tomrukcu G., Ashrafi T. Climate-resilient building energy efficiency retrofit: Evaluating climate change impacts on residential buildings. *Energy and Buildings*. 2024; V. 316: 114315. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2024.114315>
 16. Shen P. Building retrofit optimization considering future climate and decision-making under various mindsets. *Journal of Building Engineering*. 2024; V. 96: 110422. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2024.110422>
 17. Aver'yanov S.F. *Filtration from canals and its influence on groundwater regime: monograph*. Moscow: Kolos, 1982; 238. (in Russ.)
 18. Karnatsevich I.V. Calculations of thermal and water resources of small river catchments in Siberia: monograph. PART I. Thermal energy resources of climate and climatic processes. Omsk: OmSKHI, 1989: 76. (in Russ.)
 19. Karnatsevich I.V. *Calculations of thermal and water resources of small river catchments in Siberia: monograph. PART II. Water balance and water resources*. Omsk: OmSKHI, 1991: 84. (in Russ.)
 20. Budyko M.I. *Evaporation under natural conditions: a monograph*. Leningrad: Gidrometeoizdat, 1948: 136. (in Russ.)
 21. Budyko M.I. Teplovoy balans zemnoy povrkhnosti: monografiya. Leningrad: Gidrometeoizdat, 1956. 255. (in Russ.)
 22. Kharchenko S.I. Water regime management on reclaimed lands in non-Black Earth zone (hydrological aspects): monograph. Leningrad: Gidrometeoizdat, 1987: 240. (in Russ.)
 23. Retkhati L. *Groundwater and construction: a monograph*. Moscow: Stroyizdat, 1989: 432. (in Russ.)
 24. Caron C., Lauret P., Bastide A. Machine Learning to speed up Computational Fluid Dynamics engineering simulations for built environments: A review. *Building and Environment*. 2025; V. 267: 112229. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2024.112229>
 25. Vander P.D. *Python for complex problems: data science: a monograph*. St. Petersburg: Piter, 2025: 592 (in Russ.)
 26. Kulikova I.V. *Neural Networks in Python. Fundamentals of AI and machine learning: a monograph*. St. Petersburg: Nauka i tekhnika, 2025: 304. (in Russ.)
 27. Landsberg G.Ye. Climate of the city: a monograph. Leningrad: Gidrometeoizdat, 1983: 248. (in Russ.)
 28. Retter E.I. *Architectural and structural aerodynamics: a monograph*. Moscow: Stroyizdat, 1984; 294. (in Russ.)

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ

Сологаев Валерий Иванович – д-р техн. наук, проф., проф. кафедры «Промышленное и гражданское строительство» Сибирского государственного автомобильно-дорожного университета (СибАДИ), (644050, г. Омск, пр. Мира 5).

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2553-9892>,

SPIN-код: 1614-0440,

e-mail: sologaev_vi@cdo.sibadi.org

INFORMATION ABOUT THE AUTHOR

Valery I. Sologaev – (Eng.), Professor, Department «Civil and Industrial Engineering» Siberian State Automobile and Highway University (SibADI), (5, Prospect Mira, Omsk, 644080).

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2553-9892>,

SPIN-code: 1614-0440,

e-mail: sologaev_vi@cdo.sibadi.org