

DOI: 10.15593/2224-9826/2015.2.13

УДК 628.35, 628.387

**И.С. Щукин**

Пермский национальный исследовательский  
политехнический университет, Пермь, Россия

## **ВОДНЫЙ БАЛАНС ФИТОФИЛЬТРОВ ДЛЯ ОЧИСТКИ, ХРАНЕНИЯ И ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ДОЖДЕВЫХ И ТАЛЫХ ВОД С УРБАНИЗИРОВАННЫХ ТЕРРИТОРИЙ**

Автором разработано устройство для очистки и накопления ливневых и талых снеговых вод с урбанизированных территорий с целью последующего использования, получен патент на изобретение. В основе работы устройства лежит принцип фитофильтрации и накопления воды в грунтовом горизонте. В статье рассмотрены методы определения значений основных элементов водного баланса устройства. Объем поступившего поверхностного стока определяется по количеству атмосферных осадков на данной территории с учетом общего коэффициента стока водосборной поверхности. Очистка поступившего стока происходит при прохождении через слой фильтрующей загрузки с высаженной в ней растительностью. При фильтрации через загрузку часть воды задерживается в ней в виде пленочной и капиллярной влаги, остальная стекает в резервуар с пустотной загрузкой, располагаемый под фильтрующим слоем. Вода из резервуара с пустотной загрузкой при помощи погружного насоса может быть подана потребителю. Унос воды из системы происходит за счет испарения с поверхности фильтрующей загрузки и транспирации растений. Из-за сложности учета этих составляющих водного баланса принято определять общие потери на эво­транспирацию. Определение количества испаряемой единицей поверхности фитофильтра воды может быть произведено по известным графикам испаряемости для данной территории. На основании представленной схемы водного баланса разработана методика расчета устройства, заключающаяся в определении составляющих водного баланса по месяцам и в течение всего года. К преимуществам данной методики можно отнести использование достоверных и при этом доступных метеорологических данных, полученных на основании длительных метеорологических наблюдений.

**Ключевые слова:** фитофильтр, водный баланс, поверхностный сток, очистка сточных вод, использование дождевых вод

**I.S. Shchukin**

Perm National Research Polytechnic University,  
Perm, Russian Federation

## **WATER BALANCE OF THE RAIN GARDEN FOR URBAN STORMWATER TREATMENT, STORAGE AND USE**

A device for a rain garden for treating and storing stormwater and snowmelt in cold climate conditions has been developed by author. Patent for invention has been got. The device is based on phytofiltration and water store in ground level principles monthly water balance of the rain garden during

a year. Definition of the main water balance components is considered in the article. Stormwater runoff volume can be defined by precipitation layer with consider of runoff coefficient. Stormwater treatment occurs when it percolates through filtration layer with plants. At that part of the stormwater delayed in filtration media and remaining water drains in the subjacent tank, which contains poured bulk media. Stored water can be removed using the pump submerged in the well. Removal of stormwater from the rain garden occurs by surface evaporation and vegetation transpiration processes. The evaporation and the transpiration volume definition is difficult issue therefore evatranspiration is defined. The evatranspiration can be defined by monthly potential evaporation maps. On the base of monthly water balance equation methods of the rain garden design have been developed. The advantages of the methods is using of reliable and available initial data, which based on long-term meteorological observations results.

**Keywords:** rain garden, water balance, stormwater runoff, stormwater treatment, stormwater use

Одним из перспективных направлений энергоресурсосбережения в области водоснабжения и водоотведения является использование дождевых вод [1, 2]. Наряду с традиционными системами сбора, хранения и использования дождевых вод, получают распространение биоинженерные сооружения. К их преимуществам можно отнести низкую стоимость строительства и эксплуатации, высокую экологичность и способность органично вписываться как в природный, так и в урбанизированный ландшафт.

С учетом этого автором разработано устройство для очистки и хранения поверхностного стока. Получен патент на изобретение № 2540620 (RU). В основе работы устройства лежит принцип фиточистки и хранения воды в грунтовом горизонте. Схема сооружения представлена на рис. 1.

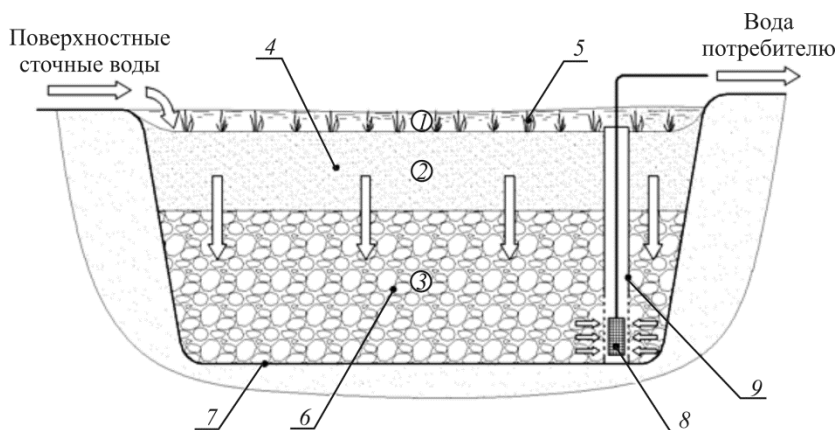


Рис. 1. Устройство для очистки и хранения поверхностных сточных вод: 1 – чаша; 2 – блок очистки; 3 – резервуар с насыпной пустотной загрузкой; 4 – фильтрующая загрузка; 5 – растительность; 6 – деформационно устойчивая загрузка; 7 – непроницаемое основание; 8 – погружной насос; 9 – скважина

Поверхностные сточные воды, прошедшие предварительную очистку от мусора и грубодисперсных примесей на фильтре или в камере отстаивания (при необходимости), поступают в чашу 1 блока очистки 2. Затем поверхностные сточные воды проходят через фильтрующую загрузку 4 с высаженной в ней растительностью 5. При значительных расходах над поверхностью фильтрующей загрузки может образовываться слой воды, сохраняющийся в течение некоторого времени после прекращения дождя, до полного впитывания.

После очистки поверхностные сточные воды поступают в резервуар 3 с насыпной пустотной загрузкой 6, располагаемой под фильтрующей загрузкой. В качестве пустотной загрузки используется инертный материал, не взаимодействующий с водой. Для предотвращения потерь воды за счет фильтрации в окружающие грунты предусматривается водонепроницаемое основание 7.

Накопленная вода может быть подана на использование в напорном режиме при помощи погружного насоса 8, располагаемого в скважине 9.

Предложенный принцип имеет широкую область применения и может быть использован на городских, промышленных и частных объектах.

При рассмотрении данного сооружения с точки зрения накопления дождевых вод с целью дальнейшего использования на первое место ставится вопрос водного баланса. Основные элементы водного баланса фитофильтра, предназначенного для очистки и хранения дождевых вод, представлены на рис. 2.

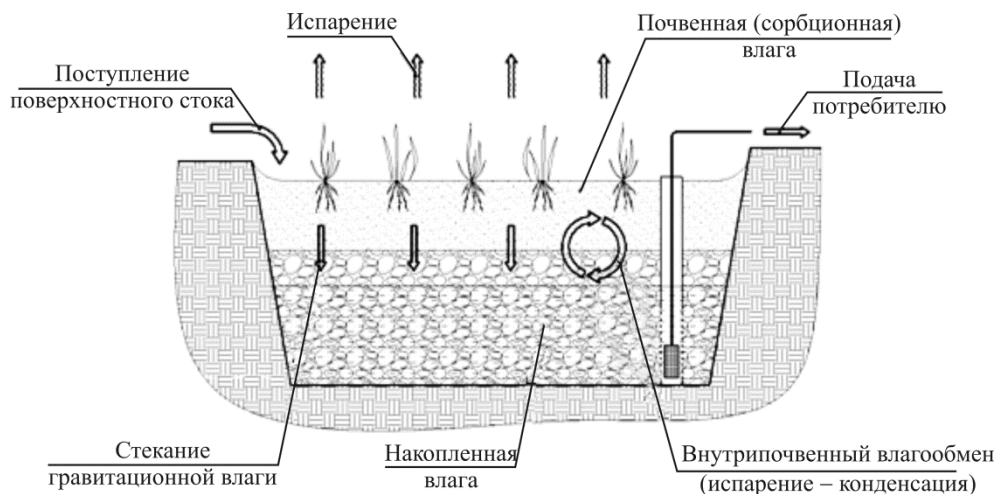


Рис. 2. Основные элементы водного баланса

В общем виде уравнение водного баланса фиточистильтра с непрогнозируемым основанием за расчетный период времени может быть представлено следующим образом:

$$W = Q - V - E_{\text{тр}} - E_{\text{исп}} - \Delta P_{\text{фз}},$$

где  $W$  – поступление поверхностного стока за расчетный период;  $Q$  – расход потребителя;  $V$  – накопленный объем воды;  $E_{\text{тр}}$  – транспирация растениями;  $E_{\text{исп}}$  – испарение с поверхности почвы;  $\Delta P_{\text{фз}}$  – изменение количества почвенной влаги в фильтрующей загрузке за расчетный период.

Учитывая вероятностный характер образования атмосферных осадков и то, что большинство метеорологических и гидрологических данных приведено по месяцам, наиболее рационально рассматривать водный баланс фиточистильтра за расчетный период, равный одному месяцу.

Рассмотрим методы определения составляющих водного баланса.

Определение количества поступившего на фиточистильтр поверхностного стока за расчетный период можно произвести по среднемесячному слою атмосферных осадков на данной территории. Доля осадков, образующих поверхностный сток, зависит от типа поверхности водосбора и определяется общим коэффициентом стока дождевых вод  $\psi_d$  по табл. 1 [3].

Таблица 1

Общий коэффициент стока для различных типов водосборных поверхностей

№ п/п	Вид поверхности или площади стока	Общий коэффициент стока $\psi_d$
1	Кровли и асфальтобетонные покрытия	0,6–0,8
2	Булыжные или щебеночные покрытия	0,4–0,6
3	Кварталы города без дорожных покрытий, небольшие скверы, бульвары	0,2–0,3
4	Газоны	0,1
5	Кварталы с современной застройкой	0,4–0,5
6	Средние города	0,4–0,5
7	Небольшие города и поселки	0,3–0,4

Определение количества талых снеговых вод, поступивших на фиточистильтр, производится исходя из предположения, что в зимние месяцы поступление поверхностного стока отсутствует, а осадки накапливаются на площади водосбора в виде снежного покрова. Накопленные в зимние

месяцы осадки поступают на фитофильтр в период снеготаяния. По данным НИИ ВОДГЕО, общий коэффициент стока талых снеговых вод  $\Psi_T$  с селитебных территорий и площадок предприятий с учетом уборки снега и потерь воды за счет частичного впитывания водопроницаемыми поверхностями в период оттепелей может быть принят в пределах 0,5–0,7.

Тогда

$$W_d = \psi_d \cdot h_d \cdot F,$$

$$W_T = \psi_T \cdot h_T \cdot F,$$

где  $h_d$  – слой осадков за расчетный период в теплое время года;  $F$  – площадь водосборной территории;  $\psi_d$  – общий коэффициент стока;  $\psi_T$  – общий коэффициент талого стока;  $h_T$  – слой осадков, мм, за холодный период года (определяет общее годовое количество талых вод) или запас воды в снежном покрове к началу снеготаяния.

Величина слоя осадков по месяцам может быть определена по данным многолетних наблюдений ФГБУ «Гидрометцентр России» [4].

Часть поступившей на фитофильтр воды задерживается в фильтрующей загрузке в виде почвенной влаги. При достижении определенной влажности, называемой предельной полевой влагоемкостью (ППВ) почвы, начинается стекание свободной (гравитационной) влаги в пустотную загрузку.

Время стекания гравитационной (свободной) влаги с почвенного слоя толщиной 1 м составляет порядка 1–2 сут на песчаных почвах, 3–5 сут – на суглинистых и 5–10 сут – на глинистых.

После стекания свободной влаги в почве остается капиллярно-подвешенная вода, которая затем медленно испаряется и поглощается растениями.

Пределом осушения почвы является достижение влажностью значения молекулярной или адсорбционной влагоемкости (МАВ). Молекулярная влага прочно удерживается в виде пленки на поверхности зерен, и ее количество остается практически неизменным, так как она недоступна растениям и способна испаряться лишь при температуре более 100 °С.

Величина предельно-полевой влагоемкости определяется механическим составом почвы. А.П. Розов приводит средние ориентировочные величины предельной полевой влагоемкости для верхней метровой толщи почв при отсутствии подпитывания грунтовыми водами (в процентах пористости) (табл. 2) [5].

Объем воды, который может вместить загрузка для хранения, зависит от ее пустотности.

Таблица 2

Предельная влагоемкость для верхнего метрового слоя вне зоны капиллярного подпитывания грунтовыми водами

Почвы	Предельная влагоемкость (в % от порозности)		Порозность (в объемных процентах)
	почвы несолонцеватые	почвы солонцеватые	
Глинистые	85–90	90–93	50–60
Тяжелосуглинистые	70–80	85–90	45–50
Среднесуглинистые	60–70	75–85	45–50
Легкосуглинистые	50–60	65–75	40–45
Супесчаные	40–50	60–65	40–45
Глинистые пески	30–40	50–60	35–40
Пески	25–30	–	30–35

В ходе изучения влияния крупности зерен на пустотность при разной плотности упаковки П.И. Фадеевым было установлено, что пустотность уплотненного песка фракций 0,1–2,0 мм практически постоянна и составляет 33,4 % [6]. Для рыхлого песка характерно увеличение пустотности при уменьшении крупности зерен. Аналогичные результаты были получены И.Н. Ахвердовым (табл. 3). Результаты исследований пустотности щебня и гравия показали, что установленные закономерности характерны и для значительно более крупных зерен [7]. При сравнении песков одинаковой фракции пустотность определяется формой зерен. Пески и гравий с округлой формой зерен, например речные и морские, обладают пустотностью порядка 29 % в виброуплотненном состоянии. Пустотность дробленого песка и щебня составляет 32–34 %.

Таблица 3

Величина пустотности насыпных материалов по данным И.Н. Ахвердова

Материал	Пустотность, %	
	Рыхлый	Уплотненный
Речной гравий	46,2	28,8
Морской гравий	40,5	28,8
Дробленный гравий (щебень)	48,6	32,5

В естественном грунте наблюдается присутствие зерен различного размера. Известно также, что наибольшей пустотностью обладают грунты с высокой однородностью гранулометрического состава. Неоднородность размеров частиц приводит к уменьшению пустотности. Это обуславливается тем, что мелкие частицы занимают пространство между крупными зернами, снижая общий объем пустот.

Часть воды, попавшей в пустотную загрузку, заполняет структурные поры материала, часть адсорбируется на поверхности зерен.

Поглощение порами определяется капиллярным эффектом и зависит от формы и сечения поровых каналов. Поры с диаметром менее 1 мкм при смачивании полностью заполняются водой, которая прочно удерживается в них. При насыщении каменных пород водой без вакуумирования заполняются водой в среднем около 60 % пор. Водопоглощение порами различных фракций гранитного щебня при суточном замачивании оценивается И.Н. Ахвердовым в 0,5–0,4 %, гравия – в 1–0,8 %.

Адсорбированная вода представляет собой пленку на поверхности зерен, поэтому объем адсорбированной воды определяется удельной поверхностью зерен. У плотных материалов большей удельной поверхностью обладают мелкозернистые загрузки. Общее содержание воды в пористых материалах практически не зависит от их фракции за счет повышения водопоглощения порами с увеличением крупности песков. Объем сорбированной воды на частицах различных фракций гранитного щебня при суточном замачивании оценивается Н.И. Ахвердовым в 0,21–0,81 %, гравия – 0,12–0,66 % с ростом значения поверхностного водопоглощения при уменьшении размера зерен, что связано с увеличением удельной поверхности.

Поглощение воды порами пустотной загрузки и адсорбирование ее на поверхности зерен происходит при первоначальном заполнении резервуара с водой. В дальнейшем этот объем воды в процессах водообмена практически не участвует.

Известно, что под действием капиллярных сил обычно происходит некоторый подъем воды над уровнем грунтовых вод. Образовавшийся слой, содержащий капиллярную влагу, носит название «капиллярная кайма». Согласно данным С.И. Долгова, приведенным в монографии А.А. Роде, размер капиллярной каймы зависит от гранулометрического состава почвы и изменяется от 41 см с размером зерен в гранулометрическом составе 0,1–0,25 мм до 5 см при размере зерен 1–2 мм. Вычисления З.К. Иофина [8] показывают схожие результаты.

Учитывая гранулометрический состав насыпной пустотной загрузки, можно предположить, что величина капиллярной каймы не будет превышать нескольких сантиметров, а следовательно, не будет происходить подсоса воды в фильтрующую загрузку.

Часть воды из зоны накопления может быть перенесена за счет испарения и последующей конденсации в вышележащих слоях почвы, а также поглощена растениями с длинными корнями.

Внутренний круговорот «испарение – конденсация» зависит от температуры и влажности почвы, в связи с чем возникают восходящие и нисходящие сезонные и суточные потоки водяного пара. Ввиду их зависимости от множества факторов учесть их при составлении водного баланса фиточистота практически невозможно.

Унос воды из системы при отсутствии дренажа происходит несколькими путями: через испарение с поверхности почвы, транспирацию (испарение растениями), испарение влаги, задержанной стеблями и листьями растений. Оценка величины этих факторов по отдельности является сложной задачей, поэтому общее количество потерь характеризуется суммарным испарением, или эвапотранспирацией.

Оценка величины испарения с поверхности фиточистота является одним из самых сложных вопросов водного баланса. Скорость и величина испарения зависят от многих факторов, в первую очередь от температуры воздуха, скорости ветра, дефицита влажности воздуха и атмосферного давления. Немалую роль при испарении играют также свойства почвы (рыхлость, цвет, влажность), рельеф и др. По мере снижения влажности почвы скорость испарения уменьшается до определенного предела, величина которого определяется свойствами почвы.

Учет всех указанных параметров при определении величины испарения не представляется возможным, поэтому для его вычисления принимается упрощенная методика СТП ВНИИГ 210.01.НТ–05, разработанная ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева для расчета гидрологических характеристик техногенно-нагруженных территорий. Согласно данной методике средняя многолетняя величина испарения  $E$  для поверхностей близких к естественным за отдельный месяц рассчитывается по формуле

$$E = E_0 = K \cdot \sum d,$$

где  $\sum d$  – сумма среднесуточных дефицитов влажности воздуха (по данным наблюдений на ближайших метеостанциях) за расчетный период, мм;  $K$  – биологический коэффициент испаряемости, зависит от времени года и вида поверхности.



Средняя многолетняя испаряемость для различных видов поверхностей  $E_0$  вП, мм, может быть определена по формуле

$$E_0 \text{ вП} = K_{\text{вП}} E_0,$$

где  $K_{\text{вП}}$  – поправочный коэффициент к средней многолетней испаряемости, принятой по данным ближайшей метеорологической станции. Для поверхностей, покрытых травянистой и редкой кустарниковой растительностью,  $K_{\text{вП}}$  принимается равным 0,9.

Для предварительных расчетов, при отсутствии исходных данных, величины месячного испарения для всей территории Российской Федерации можно получить из произведения средней многолетней годовой и месячной испаряемости на относительное испарение  $E/E_0$  за те же периоды. Величину средней многолетней месячной испаряемости и среднего годового и месячного (май – октябрь) относительного испарения  $E/E_0$  можно определить по картам П2.5–П2.19<sup>9</sup>.

Величины среднего годового и месячного (май – октябрь) относительного испарения определяются по картам (прил. 2, рис. П2.14–П2.19)<sup>10</sup>.

Учитывая действие описанных выше процессов, работу системы для очистки и хранения дождевых вод за расчетный период можно описать графиком изменения влажности фильтрующей загрузки. Пример графика изменения влажности фильтрующей загрузки за расчетный период показан на рис. 3.

В качестве точки отсчета для построения графика водного баланса может быть выбран период после снеготаяния или сильного дождя, когда влажность почвы соответствует значению предельно-полевой влагоемкости (ППВ). При испарении воды из фильтрующей загрузки будет наблюдаться плавное снижение влажности загрузки. Если сухой период достаточно продолжительный, значение влажности фильтрующей загрузки может дойти до величины максимальной адсорбционной влажности МАВ (участок II). Дальнейшее снижение влажности при нормальных условиях эксплуатации фитофильтра практически невозможно. При поступлении в фитофильтр малого количества поверхностного стока (участок III), которого недостаточно для повышения

---

<sup>9</sup> СТП ВНИИГ 210.01.НТ–05. Методика расчета гидрологических характеристик техногенно-нагруженных территорий. СПб., 2005.

<sup>10</sup> Там же.

влажности фильтрующей загрузки до величины ППВ, поступления воды в пустотную загрузку не произойдет. В периоды поступления значительного количества поверхностного стока (участок I, IV) будет наблюдаться превышение значения ППВ фильтрующей загрузки и начнется стекание гравитационной воды в резервуар с пустотной загрузкой. В случае очень сильных осадков (участок V), когда на поверхности фитофильтра образовывается слой воды, будет наблюдаться заполнение всех пор фильтрующей загрузки водой. После прекращения поступления поверхностного стока произойдет сначала быстрое стекание гравитационной влаги, а потом медленное снижение влажности за счет эвапотранспирации.

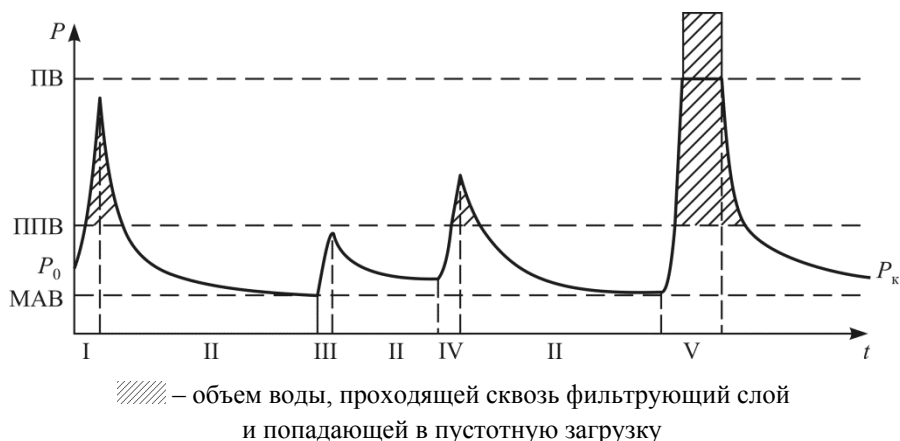


Рис. 3. График изменения влажности фильтрующей загрузки за расчетный период:  
 МАВ – максимальная адсорбционная влажность;  
 ППВ – предельная полевая влагоемкость; ПВ – полная влагоемкость

Снизить потери на испарение можно при помощи мульчирования поверхности фитофильтра с использованием древесных стружек и/или опилок [9]. Кроме того, А.П. Дэвисом и др. показано положительное влияние мульчи на процесс извлечения тяжелых металлов из поверхностного стока [10]. Также мульча на поверхности фитофильтра помогает длительное время поддерживать влажность в верхних слоях почвы, что необходимо для поддержания жизнедеятельности растений.

С целью снижения испарения по периметру фитофильтра могут быть высажены деревья для уменьшения попадания солнечных лучей и снижения скорости ветра над поверхностью фитофильтра.

Таким образом, рассмотрены основные элементы водного баланса фитофильтра для очистки и хранения дождевых вод с целью последующего использования и методы их определения. К преимуществам приведенных методов можно отнести использование общедоступных и при этом достоверных исходных данных. Однако при проектировании фитофильтров необходимо уточнять значения основных параметров, с учетом применяемых материалов и климатических особенностей региона строительства.

*Работа выполнена при финансовой поддержке Фонда содействия развитию малых форм предприятий в научно-технической сфере.*

### **Библиографический список**

1. Орлов В.А., Волкова Л.А., Литвиненко Л.Л. Экологические аспекты использования поверхностного стока для подпитки оборотного водоснабжения промышленных предприятий // Экосистемы, их оптимизация и охрана. – 2012. – № 6. – С. 251–256.

2. Harvesting rainwater for domestic uses: an information guide. – Bristol, United Kingdom: Environment Agency, 2010. – URL: <http://webarchive.nationalarchives.gov.uk/20140328084622/http://cdn.environment-agency.gov.uk/geho1110bten-e-e.pdf> (accessed 4 April 2014).

3. Рекомендации по расчету систем сбора, отведения и очистки поверхностного стока с селитебных территорий, площадок предприятий и определению условий выпуска его в водные объекты / ОАО «НИИ ВОДГЕО». – М., 2014. – 88 с.

4. Ежемесячные климатические данные для городов России [Электронный ресурс] // Сайт ФГБУ «ГИДРОМЕТЦЕНТР РОССИИ». – URL: <http://meteoinfo.ru/klimatgorod> (дата обращения: 4.04.2015).

5. Розов А.П. Мелиоративное почвоведение. – М.: Гос. изд-во сельскохоз. лит., 1956. – 450 с.

6. Фадеев П.И. Пески СССР. – М.: Изд-во МГУ, 1951. – 290 с.

7. Ахвердов И.Н. Основы физики бетона. – М.: Стройиздат, 1981. – 464 с.

8. Иофин З. К. Совершенствование теории формирования элементов водного баланса речных бассейнов. – М.: Университетская книга, 2012. – 196 с.

9. Бакиров Ф.Г., Коряковский А.В. Мульчирование – эффективный способ использования водных ресурсов // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. – 2011. – Т. 3, № 31-1. – С. 55–57.

10. Laboratory study of biological retention for urban stormwater management / A.P. Davis, M. Shokouhian, H. Sharma, C. Minami // Water Environment Research. – 2001b. – Vol. 73 (1). – P. 5–14.

### References

1. Orlov V.A., Volkova L.A., Litvinenko L.L. Ekologicheskie aspekty ispol'zovaniia poverkhnostnogo stoka dlia podpitki oborotnogo vodosnabzheniia promyshlennykh predpriatii [Ecological aspects of stormwater use for a recycling water supply system recharge]. *Ekosistemy, ikh optimizatsiia i okhrana*, 2012, no. 6, pp. 251-256.

2. Harvesting rainwater for domestic uses: an information guide. Bristol, United Kingdom: Environment Agency, 2010, available at: <http://webarchive.nationalarchives.gov.uk/20140328084622/http://cdn.environment-agency.gov.uk/geho1110bten-e-e.pdf> (accessed 4 April 2014).

3. Rekomendatsii po raschetu sistem sbora, otvedeniia i ochistki poverkhnostnogo stoka s selitebnykh territorii, ploshchadok predpriatii i opredeleniiu uslovii vypuska ego v vodnye ob'ekty [Recommendation for the designing of urban stormwater harvesting, disposal and treatment systems and requirements of its discharge in water bodies]. Moscow: OAO "NII VODGEO", 2014. 88 p.

4. Ezhemesiachnye klimaticheskie dannye dlia gorodov Rossii [Monthly climatic data for Russian cities]. *Sait FGBU "GIDROMETCENTR ROSSII"*, available at: <http://meteoinfo.ru/klimatgorod> (accessed 4 April 2015).

5. Rozov A.P. Meliorativnoe pochvovedenie [Amelioration agrology]. Moscow: Gosudarstvennoe izdatel'stvo sel'skokhoziaistvennoi literatury, 1956. 450 p.

6. Fadeev P.I. Peski SSSR [Sands of USSR]. Moscow: Moskovskii gosudarstvennyi universitet, 1951. 290 P.

7. Ahverdov I.N. Osnovy fiziki betona [Basis of the concrete physics]. Moscow: Stroiizdat, 1981. 464 p.

8. Iofin Z.K. Sovershenstvovanie teorii formirovaniia elementov vodnogo balansa rechnykh basseinov [The theory of formation of river basins water balance elements]. Moscow: Universitetskaia kniga, 2012. 196 p.

9. Bakirov F.G., Koriakovskii A.V. Mul'chirovanie – effektivnyi sposob ispol'zovaniia vodnykh resursov [Mulch addition as high efficiency technic of

water resources use]. *Izvestiia Orenburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*, 2011, vol. 3, no. 31-1, pp. 55-57.

10. Davis A.P., Shokouhian M., Sharma H., Minami C. Laboratory study of biological retention for urban stormwater management. *Water Environment Research*, 2001b, vol. 73 (1), pp. 5-14.

Получено 09.04.2015

### **Об авторе**

**Шукин Игорь Сергеевич** (Пермь, Россия) – ассистент кафедры «Теплогазоснабжение, вентиляция и водоснабжение, водоотведение» Пермского национального исследовательского политехнического университета (614010, г. Пермь, ул. Куйбышева, 109, e-mail: shchukin-is@yandex.ru).

### **About the author**

**Igor S. Shchukin** (Perm, Russian Federation) – Assistant, Department of Heating, Ventilation and Water Supply and Sewerage, Perm National Research Polytechnic University (614010, 109, Kuibyshev st., Perm, Russian Federation, e-mail: shchukin-is@yandex.ru).