

УДК 502/504:631.6

С.А. МАКСИМОВ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева», г. Москва

## УПРАВЛЕНИЕ ВЕРТИКАЛЬНЫМ ГИДРОФИЗИЧЕСКИМ БАРЬЕРОМ ПРИ СОЗДАНИИ ЦЕЛЕВЫХ ИСКУССТВЕННЫХ ПОЧВЕННЫХ КОНСТРУКЦИЙ\*

*В статье развивается идея о том, что сущность мелиорации заключается в управлении почвенными процессами. Показано, что эта идея имеет решающее значение не только при мелиорации сельскохозяйственных земель, но и при создании искусственных почвенных конструкций, для которых важно определить слоистую структуру и свойства слоёв заранее. Слоистые почвенные конструкции используются для развития паркового газонного хозяйства, при создании оснований «зелёных стоянок» для автомобилей, для создания «зелёных крыш» на зданиях и сооружениях при озеленении городской инфраструктуры, в тепличном хозяйстве, при выращивании растений в закрытом грунте и проч. Приводятся результаты моделирования вертикального гидрофизического барьера и проводится анализ их функционирования. Предлагаемый в статье подход позволяет создавать искусственные почвенные конструкции с заданными свойствами. Идея управления водным режимом и барьерными свойствами искусственной почвенной конструкции позволяет обеспечивать её эффективное функционирование на протяжении всего периода эксплуатации таких объектов. Для варианта «Зелёная крыша» предлагается следующая конструкция: верхний слой – почвенный субстрат на основе кварцевого отмытого речного песка (20% от объёма) с добавлением торфяной крошки (40% от объёма) и мелкозернистого (15 мм) перлита (40% от объёма). Поливные маты, например, ЕСО-МАТ16 (Hunter). Раздельный выравнивающий песчаный слой 15...20 мм. Противокорневой слой из геотекстиля. Дренажный слой, Floradrain, система подогрева. Такое решение представляется оптимальным по своим технологическим и эксплуатационным качествам, а также позволяет создавать и поддерживать необходимые растениям водно-воздушный и питательный режимы. Этот подход к созданию многослойных искусственных конструкций и управление работой совокупности гидрофизических барьеров реализованы нами (совместно с И.В. Корнеевым и А.Н. Данильченко) в проекте «ЗЕЛЕНАЯ КРЫША» разработанном в 2011 г. для эспланады башни «ИСЕТЬ» в Екатеринбурге.*

*Искусственные почвенные конструкции, мелиорация, биогеохимический барьер, режим полива, барьерные свойства.*

**Введение.** Идея создания искусственных слоистых почво-подобных структур, представляющих собой совокупность вертикальных гидрофизических барьеров, а также управления ими может быть эффективно применена при разработке слоистых почвенных конструкций, которые все чаще используются для развития паркового газонного хозяйства, при создании оснований «зелёных стоянок» для автомобилей, для создания «зелёных крыш» на зданиях и сооружениях при озеленении городской инфраструктуры и проч. [1, 2]. Такие почвенные конструкции по сути являются искусственно воссозданной почвой или биогеохимическим

барьером [4] с заранее определёнными свойствами.

**Материалы и методы исследований.** Современные методы моделирования потоков веществ и воды в различных пористых средах позволяют уже на предпроектной стадии подобрать такое сочетание элементов слоистой структуры, которое бы обеспечивало эффективное функционирование этих объектов в течение всего срока жизни проекта.

Рассмотрено несколько вариантов подбора параметров целевых искусственных конструкций для следующих объектов: «Зелёная стоянка», газон, «Зелёная крыша».

\*Материал представлен в форме доклада 01.06.2016 г. на пленарном заседании конференции, посвященной 50-летию программы «О широком развитии мелиорации земель».

Искусственные почвенные конструкции для рассматриваемых объектов: «Зелёная стоянка», газон, «Зелёная крыша» – должны иметь определённую внутреннюю структуру с определёнными свойствами, которые позволяют выполнять ожидаемые практические задачи. Внутренняя структура искусственных почвенных конструкций характеризуется набором параметров, к которым можно отнести морфометрические параметры (толщину и сочетания отдельных горизонтов), водно-физические параметры отдельных слоёв и всей конструкции в целом, физические и биохимические параметры. Анализ таких параметров проводится по результатам серии прогнозных расчётов с использованием математической модели влагопереноса и программы «Полив», разработанной на кафедре мелиорации и рекультивации земель А.И. Головановым [3].

Эффективная работа искусственных почвенных конструкций для каждого из выбранных объектов обеспечивается несущей способностью всей конструкции, сорбционными свойствами, дренирующей и водоудерживающей способностью, плодородием отдельных слоёв или всей совокупности.

Подбор параметров почвенной конструкции осуществлялся для каждого объекта отдельно. Так, для «зелёной стоянки» определяющими параметрами конструкции являются несущая способность и хорошая дренируемость. Для газона в парке особое внимание уделяется плодородным и сорбционным свойствам при ограниченной толщине почвенной конструкции. Для «зелёной крыши» определяющими свойствами являются сорбционные, водоудерживающие и дренирующие свойства при ограниченной толщине почвенной конструкции.

Подбор параметров почвенной конструкции в работе осуществляется в условиях расчётной нагрузки, для которой является критичным количество поступающей влаги как в результате естественных причин, так и при проведении поливов. Количество влаги в почвенной конструкции и динамика влагозапасов определяются дефицитом (профицитом) влаги в расчётном году. В мелиорации существует понятие «годы расчётной обеспеченности», к которым относят обеспеченность 75% (среднесухой год) и 10% (влажный год). Под обеспеченностью понимается вероятность превышения расчётного дефицита влаги. При проведении расчётов по подбору морфометрических и воднофизи-

ческих параметров почвенных конструкций были использованы обеспеченности 10% и 75%.

Для каждого варианта расчёта, исходя из назначения объекта, установили морфометрические параметры почвенной конструкции. При этом для всех расчётов была использована трёхслойная схема в различных вариантах. Так, для газона, слой А, – плодородный слой мелкозёма с хорошими сорбционными свойствами, но при этом обладающий относительно хорошей проницаемостью; слой В – подстилающий транзитный горизонт – легко и среднесуглинистый; слой С – дренирующий горизонт – песчано-гравийный слой с размещёнными в нем горизонтальными трубчатыми дренами. Для «зелёной стоянки» слой А – хорошо дренирующий, армированный пластиковым каркасом, обладающий относительным плодородием; слой В – транзитный слой, обладающий хорошей несущей способностью и легко дренируемый (песчаный и супесчаный горизонт); слой С – дренирующий горизонт – песчано-гравийный слой с размещёнными в нем горизонтальными трубчатыми дренами. Для «зелёной крыши» слой А – относительно мелкий слой, обладающий плодородием и высокой удерживающей способностью (предположительно представляющий собой смесь плодородного мелкозёма, торфяной крошки, перлитового субстрата и мелкозернистого песка); слой В – хорошо дренирующий слой (хорошо искусственно структурированный слой мелкозёма, обогащённый вермикултурой, в этом горизонте на верхней границе размещается специальное поливочное полотно EсоMat); слой С – дренирующий слой (представляет собой гофрированное пластиковое полотно, покрытое сверху геотекстилем, в нижней части дренажное полотно сопрягается с дренажными трубками).

**Результаты исследований.** Для выбранных слоистых почвенных конструкций были подобраны значения характеристик водно-физических свойств каждого слоя.

Для «зелёной стоянки» используется почвенная конструкция, верхний слой которой армируется георешеткой (рис. 1). Конструкции с газонными решётками предназначены для озеленённых участков с повышенным уплотняющим воздействием. Газонные решётки представляют собой модульные покрытия (форма «соты»), обладающие высокой устойчивостью к механи-

Таблица 2

**Водно-физические свойства горизонтов почвенной конструкции для газона**

Слой \ Параметры	$P, \text{ м}_в^3/\text{м}^3$	$\omega_m, \text{ доли } P$	$h_k, \text{ м}$	$k_f, \text{ м/сут.}$
A = 0,4 м	0,45	0,09	1,4	0,35
B = 0,4 м	0,45	0,08	1,6	0,65
C = 0,4 м	0,32	0,08	1,2	1,0

ческим нагрузкам, которые укладываются на поверхность плодородного слоя с посевом многолетних трав. Газонные решётки, придающие травяному покрытию высокую устойчивость к механическим нагрузкам, предназначены для применения на автомобильных стоянках, пешеходных дорожках, подъездных путях.

Таблица 1

**Водно-физические свойства горизонтов почвенной конструкции «Зелёная стоянка»**

Слой \ Параметры	$P, \text{ м}_в^3/\text{м}^3$	$\omega_m, \text{ доли } P$	$h_k, \text{ м}$	$k_f, \text{ м/сут.}$
A = 0,2 м	0,52	0,08	2,5	0,2
B = 0,3 м	0,38	0,07	0,9	0,8
C = 0,3 м	0,35	0,06	0,4	1,4

Для устройства газона предлагается почвенная конструкция с заранее используемой почвенной конструкцией (рис. 2).

Почвенная конструкция для создания «зелёной крыши» представляет собой фактически искусственную тонкослойную систему, состоящую из слоёв с предварительно определёнными свойствами.

При создании искусственных почвенных конструкций нежелательно использовать естественные почвы, супесчаные и суглинистые грунты, поскольку они подвержены переуплотнению, требуют дополнительной обработки и рыхления, заиливают систему дренажа.



Рис. 1. Схема конструкции с газонными решётками

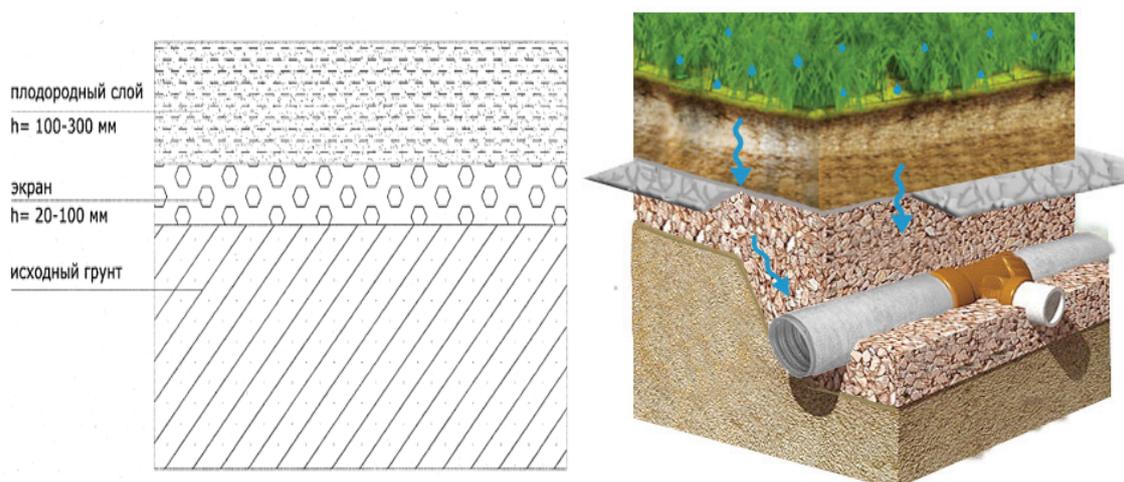


Рис. 2. Схема сплошной почвенной конструкции для устройства газонов

Нами предлагается конструкция, изображенная на рисунке 3:

- Почвенный субстрат.
- Поливные маты, например, ECO-MAT16 (Hunter).
- Раздельный выравнивающий песчаный слой 15...20 мм.
- Противокорневой слой из геотекстиля.
- Дренажный слой Floradrain.
- Система подогрева.

Такое решение представляется оптимальным по своим технологическим и эксплуатационным качествам. Оно также позволяет создавать и поддерживать необходимые растениям водно-воздушный и питательный режимы.

Верхний слой – почвенный субстрат на основе кварцевого отмытого речного песка (20% от объёма) с добавлением торфяной крошки (40% от объёма) и мелкозернистого (15 мм) перлита (40% от объёма).

Вода и растворы питательных веществ впитываются перлитом (100 г перлита могут вобрать до 400 мл воды) и постепенно отдаются растению. При этом достигается сокращение количества поливов, экономия воды (уменьшаются потери воды от испарения и дренажа)

и удобрений (не вымываются). Излишне внесённые удобрения впитываются и постепенно отдаются растениям. Повышается пористость и рыхлость, а значит, воздухопроницаемость, предотвращается слеживание, комкование, уплотнение, затверждение почвы, образование поверхностной корки. Кроме кондиционирования почвы, перлит защищает корневую систему от внешних перепадов температуры. Субстрат с перлитом меньше охлаждается в холодное время и не перегревается в жаркие периоды, сглаживаются суточные колебания температуры. За счёт низкой теплопроводности перлита предотвращается вымерзание корневой системы в ранневесенний период (при высадке рассады) и при зимовке растений в открытом грунте (с применением укрывных материалов).

Перлит является экологически чистым и стерильным материалом, нетоксичен, не содержит тяжёлых металлов. Применение перлита снижает общий вес субстрата, что уменьшает нагрузку на кровлю сооружения. В таблицах 3, 4 приведены значения водно-физических характеристик горизонтов целевой почвенной конструкции при устройстве «зелёной крыши».

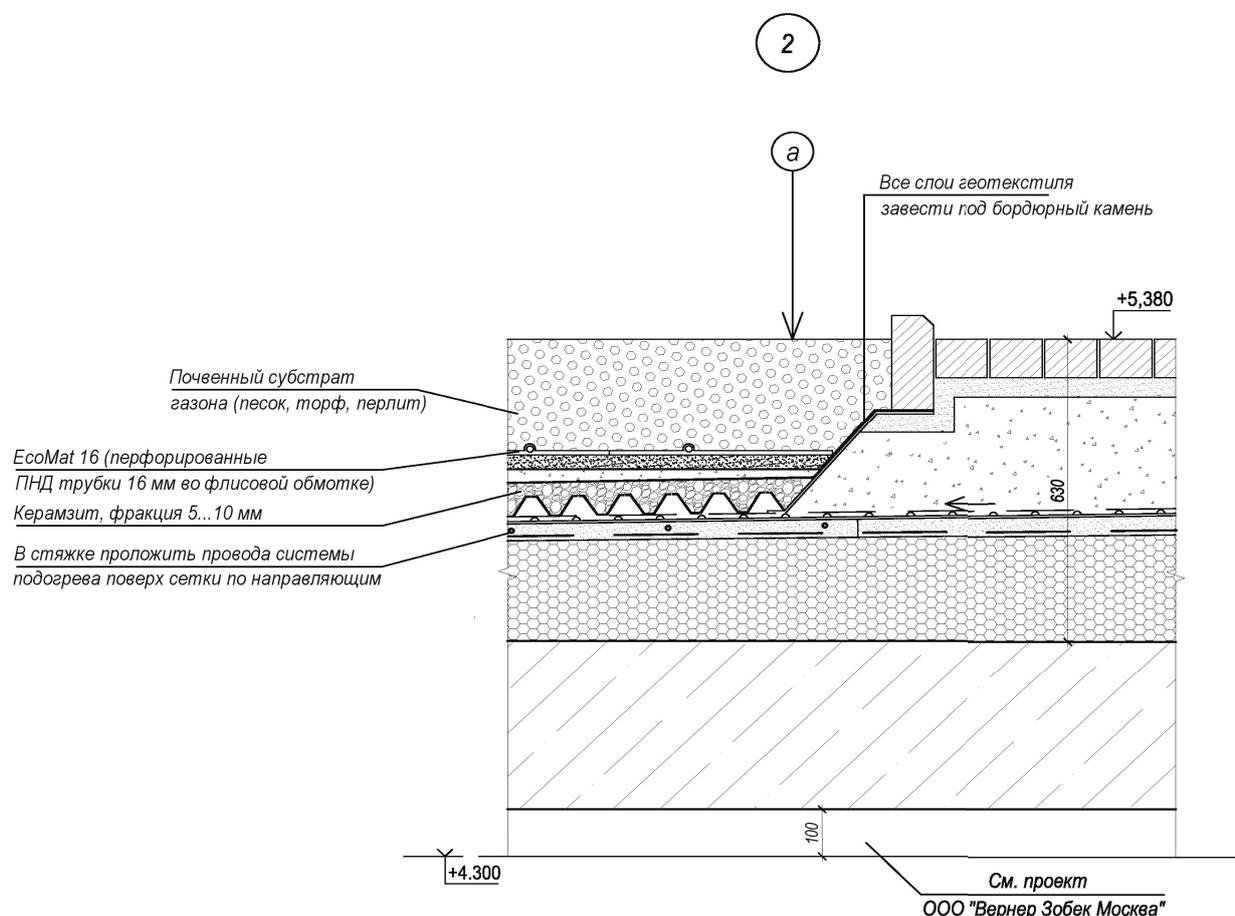


Рис. 3. Схема сплошной почвенной конструкции для устройства газонов

Таблица 3  
**Водно-физические свойства  
 горизонтов почвенной конструкции  
 «Зелёная крыша» при условии  
 отсутствия поливов**

Слой	Параметры	$P, \text{ м}_в^3/\text{м}^3$	$\omega_m, \text{ доли } P$	$h_k, \text{ м}$	$k_f, \text{ м/сут.}$
	A = 0,4 м	0,55	0,11	0,4	0,6
	B = 0,1 м	0,55	0,11	0,4	0,6
	C = 0,1 м	0,45	0,09	0,3	0,4

Таблица 4  
**Водно-физические свойства  
 горизонтов почвенной конструкции  
 «Зелёная крыша» с учётом поливов**

Слой	Параметры	$P, \text{ м}_в^3/\text{м}^3$	$\omega_m, \text{ доли } P$	$h_k, \text{ м}$	$k_f, \text{ м/сут.}$
	A = 0,4 м	0,48	0,09	1,7	0,4
	B = 0,1 м	0,48	0,09	1,7	0,4
	C = 0,1 м	0,44	0,09	1,3	0,02

Серия расчётов водного режима при подборе параметров почвенной конструкции для объекта «Зелёная стоянка» показала, что выбранная слоистая конструкция позволяет в год 10%-ной обеспеченности – влажный год избежать – поверхностного стока за счёт хорошей дренируемости горизонтов В, и особенно – С. При этом влажность корнеобитаемого слоя поддерживается в заданном диапазоне, обеспечивая комфортные условия для развития газонной растительности. Однако значительная величина водообмена свидетельствует о больших нисходящих потоках влаги и усилении промывного режима, в результате чего может происходить снижение плодородности почвы. Это в свою очередь требует компенсации потерь питательных веществ путём внесения органических и минеральных удобрений с поливной водой. Но при этом возникают обстоятельства, когда при усилении промывного режима вносящиеся в почву удобрения будут активно поступать с дренажным стоком в водоприемник, что ухудшает качество воды в нем и приводит к эвтрофикации водоёмов. Следовательно, для предотвращения негативного воздействия на поверхностные воды необходимо дренажные воды подвергать очистке перед сбросом в водоём. Для этого на объекте должна быть предусмотрена система дренирования с очистными сооружениями.

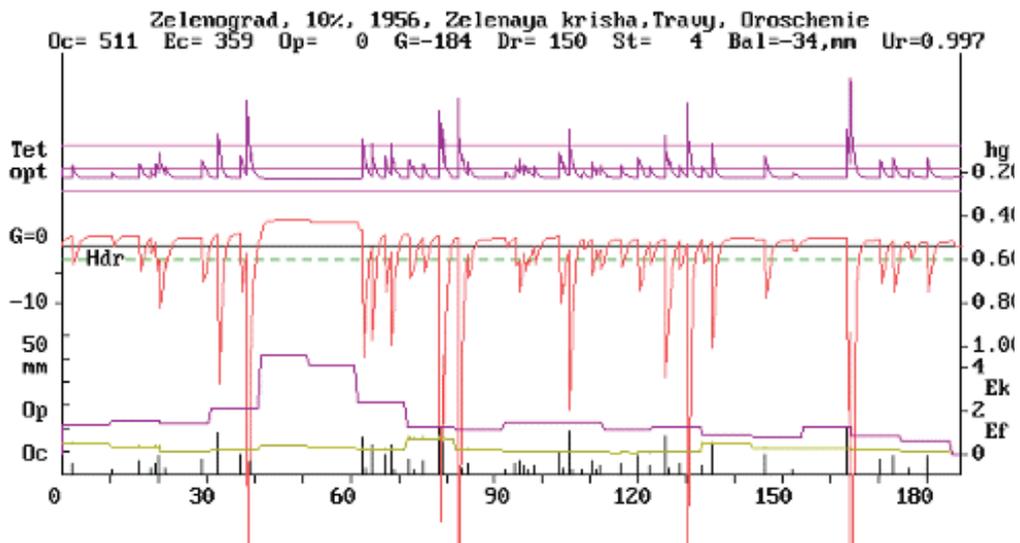
Расчёты в среднесухой, 75%-ной обеспеченности год, показывают, что свойства слоёв почвенной конструкции позволяют обеспечить функционирование растительного покрова стоянки при проведении поливов из стационарной трубчатой сети или путём полива с использованием дождеваль-ных машин.

С учетом того, что площадка используется под автостоянку, верхний горизонт А подвергается уплотнению колёсами автомобиля, и его следует армировать специальными пластиковыми решётками, сохраняющими как структуру, так и его свойства в целом.

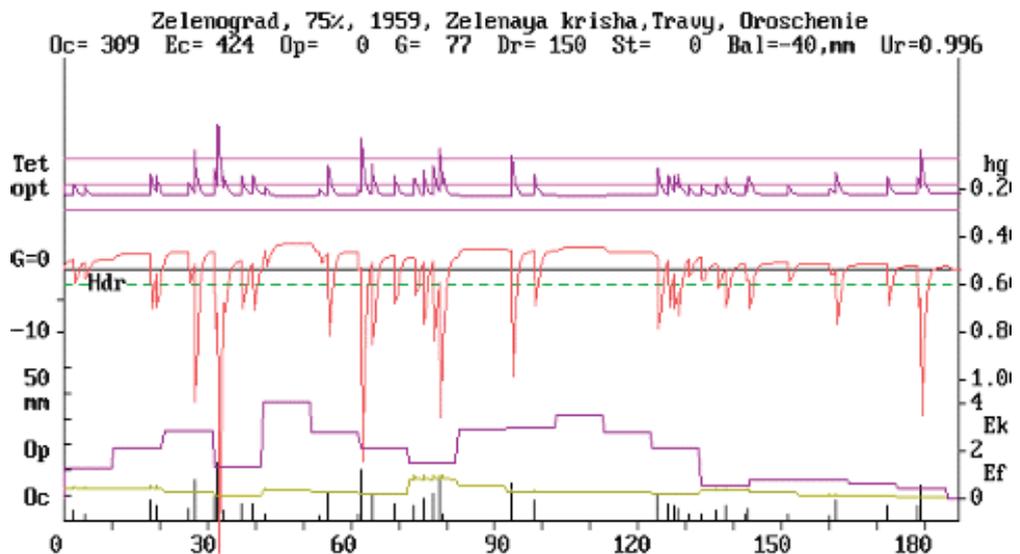
Все вышесказанное при анализе параметров почвенной конструкции «Стоянка» в полной мере будет относиться и к объекту «Газон», за исключением того, что горизонт А не нуждается в армировании. С учётом того, что в парке наряду с газонной травой произрастают кустарники и деревья, мощность горизонта А должна быть увеличена до 60 см, а слой мелкозёма должен обладать хорошими капиллярными и сорбционными свойствами. В этом случае горизонт А, сохраняя плодородие, будет выполнять также экологические функции, сорбируя тяжёлые металлы, накапливая и нейтрализуя химические вещества и пыль, поступающие из городского атмосферного воздуха. В созданных комфортных для произрастания условиях растения будут активно поглощать углекислый газ и выделять кислород.

Объект «Зелёная крыша» предъявляет повышенные требования к свойствам слоёв почвенной конструкции. Это связано с тем, что почвенная конструкция, располагающаяся на крыше здания, функционируя, должна выполнять все требования, касающиеся устойчивости зданий и сооружений, дополнительных нагрузок на конструкции кровли, гидроизоляции сооружений. «Зелёная крыша» представляет собой единый комплекс, состоящий из растений, собственной почвенной конструкции и инженерной системы жизнеобеспечения. Функционирование такого комплекса не должно нарушать условий функционирования самого здания или его конструкции. В связи с этим общая мощность слоёв почвенной конструкции не должна превышать 50...60 см. Результаты расчёта для финальных вариантов подобранной почвенной конструкции «Зелёная крыша» приведены на рисунке 4.

а)



б)



в)

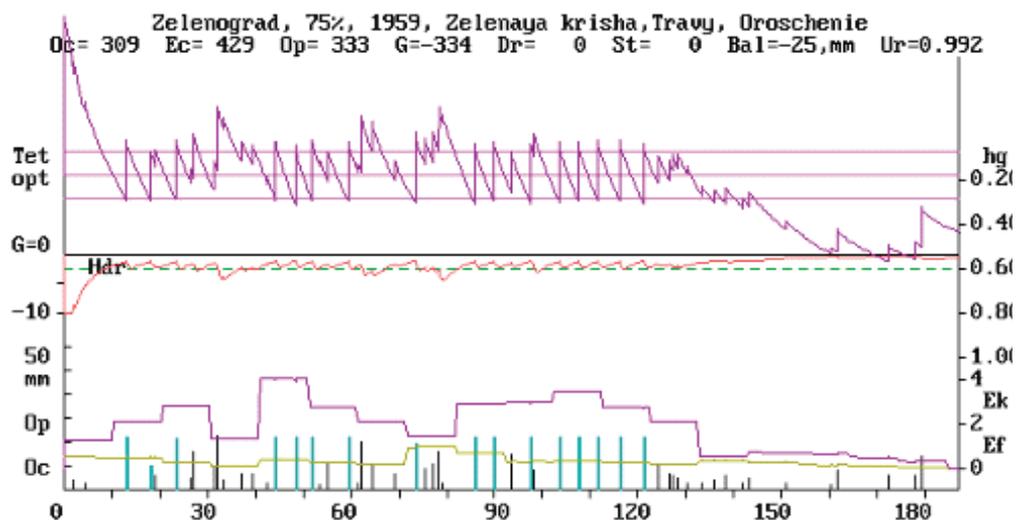


Рис. 4. Результаты расчёта водного режима при подборе параметров почвенной конструкции «Зелёная крыша»:

а) год 10%-ной обеспеченности (влажный); б) год 75%-ной обеспеченности (среднесухой) при условии отсутствия поливов; в) год 75%-ной обеспеченности с учётом поливов

Расчёты по подбору параметров почвенной конструкции и её водного режима позволяют сделать вывод о том, что верхний горизонт А (полностью искусственного происхождения) должен обладать комбинацией свойств, присущих плодородным почвам, хорошо проницаемым структурированным грунтам и искусственным материалам, обладающим высокой поглотительной, водоудерживающей способностью, развитыми капиллярными свойствами.

По нашему мнению (и расчёты это подтверждают), в качестве такого искусственного почвенного образования может служить комбинация, в определённой пропорции состоящая из плодородного, хорошо гумусированного среднелегкосуглинистого компонента, торфяной крошки, перлитового субстрата и крупнозернистого песка. В качестве развития свойств такого искусственного почвенного компонента возможно использование таких современных материалов, как шунгит, перлит, различные микробиологические добавки, а возможно, и современные высокогигроскопичные гели и субстраты. Слой В должен обладать, с одной стороны, хорошей водопроницающей способностью, с другой стороны – обеспечивать жизнеспособность верхнего слоя А. Между слоями почвенной конструкции рекомендуется устраивать маты из геотекстиля, препятствующие размытию и смещению слоёв. Слой В состоит из песчано-гравийной смеси и торфяной крошки. Слой С толщиной 5...10 см состоит из пластикового, гофрированного, дренажного мата, уложенного на систему отопления и гидроизоляционное покрытие «зелёной крыши». Такая конструкция слоя С позволяет в годы с избыточным увлажнением обеспечивать хорошую дренируемость всей конструкции, а также связь её с дренажной системой. В засушливые годы (75%) конструкция горизонта С, накапливающая влагу в складках гофры в предыдущие периоды за счёт капилляров верхних слоёв, позволяет компенсировать дефицит влаги.

Подобранный вариант почвенной конструкции на «зелёной крыше», по нашему мнению, что доказывается расчётами, позволяет избежать поверхностного стока и избыточной промываемости слоя во влажные годы и за счёт накопленной влаги и капиллярных свойств слоёв почвенной конструкции обеспечить необходимую влажность для развития зелёной массы, обходясь без дополнительного полива.

## Выводы

1. Для каждого варианта расчёта исходя из назначения объекта были установлены морфометрические параметры почвенной конструкции, приведенные выше.

2. Для варианта «Зелёная крыша» предлагается следующая конструкция: верхний слой – почвенный субстрат на основе кварцевого отмытого речного песка (20% от объёма) с добавлением торфяной крошки (40% от объёма) и мелкозернистого (15 мм) перлита (40% от объёма). Поливные маты, например, ЕСО-MAT16 (Hunter). Раздельный выравнивающий песчаный слой 15...20 мм. Противокорневой слой из геотекстиля, дренажный слой, Floradrain, система подогрева. Такое решение представляется оптимальным по своим технологическим и эксплуатационным качествам, а также позволяет создавать и поддерживать необходимые растениям водно-воздушный и питательный режимы.

3. Расчёты по подбору параметров почвенной конструкции «Зелёная крыша» и её водного режима позволяют сделать вывод о том, что верхний горизонт А (полностью искусственного происхождения) должен обладать комбинацией свойств, присущих плодородным почвам, хорошо проницаемым структурированным грунтам и искусственным материалам, обладающим высокой поглотительной, водоудерживающей способностью, развитыми капиллярными свойствами. По нашему мнению, что подтверждают расчёты, в качестве такого искусственного почвенного образования может служить комбинация, в определённой пропорции состоящая из плодородного, хорошо гумусированного среднелегкосуглинистого компонента, торфяной крошки, перлитового субстрата и крупнозернистого песка.

4. Предлагаемый подход позволяет создавать искусственные почвенные конструкции с заданными свойствами. Идея управления водным режимом и барьерными свойствами искусственной почвенной конструкции позволяет обеспечивать её эффективное функционирование на протяжении всего периода эксплуатации таких объектов.

## Библиографический список

1. Шейн Е.В. О почвах естественных и почвенных конструкциях // Соросовский образовательный журнал. – 2001. – № 9. Т. 7.
2. Смагин А.В., Садовникова Н.Б. Создание почвоподобных конструкций // Почвоведение. – 2015. – № 9.

3. Природообустройство: Учебник для вузов / Под ред. А.И. Голованова. – М.: Издательство «Лань», 2015. – 595 с.

4. Голованов А.И., Пестов Л.Ф., Максимов С.А. Геохимия техноприродных ландшафтов. – М.: МГУП, 2006. – 201 с.

Материал поступил в редакцию 30.05.2016 г.

### Сведения об авторе

**Максимов Сергей Алексеевич**, кандидат технических наук, доцент кафедры «Мелиорация и рекультивация земель»; ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева; 127550, г. Москва, ул. Б. Академическая, д.44; тел.: 8-985-239-68-91; e-mail: s.a.maksimov@mail.ru

### S.A. MAKSIMOV

Federal state budget educational institution of higher education «Russian state agrarian university – MAA named after C.A. Timiryazev», Moscow

## MANAGEMENT OF VERTICAL HYDRO PHYSICAL BARRIER WHEN\*\*

*In the article the idea is developing that the essence of land reclamation is control of soil processes. It is shown that this idea has a decisive significance not only for reclamation of agricultural lands but also when creating artificial soil structures for which it is important to determine a laminated structure and properties of layers in advance. Laminated soil structures are used for development of park lawn economy, when establishing «green parking» for automobiles, for establishing «green roofs» on buildings and constructions when planting trees and bushes for urban infrastructure, in greenhouses, when growing plants in the protected ground etc. There are given results of modeling a hydro physical barrier and analysis of their functioning. The proposed approach makes it possible to create artificial soil structures with the assigned characteristics. The idea of control of water regime and barrier characteristics of the artificial soil structure allows providing its effective functioning during the whole operational period of such objects. For the variant «Green roof» the following structure is proposed: upper layer – soil substrate on the basis of quartz washed river sand (20% of the volume) with adding peat litter (40% of the volume) and fine-grained (15 mm) perlite (40% of the volume). Irrigation mats, for example, ECO-MAT16 (Hunter). Separate leveling sand layer 15...20 mm. Anti-root layer of geotextile. Drainage layer, Floradrain, system of heating. Such a decision is considered optimal according to its technological and operational qualities and it also helps to create and maintain water-air and feeding regimes necessary for plants. This approach to creation of multi-layer artificial structures and management of the work of total hydro physical barriers are realized by us) together with I.V. Korneev and A.N. Danilichenko) in the project «GREEN ROOF» worked out in 2011 for the esplanade of the tower «ISETJ» in Yekaterinburg.*

*Artificial soil structures, land reclamation, biogeochemical barrier, irrigation regime, barrier characteristics.*

### Reference

1. Shein E.V. О почвах естественных и почвенных конструкциях // Соросовский образовательный журнал. – 2001. – № 9. V. 7.

2. Smagin A.V., Sadovnikova N.B. Sozdanie pochvopodobnyh konstruktсий // Pochvovedenie. – 2015. – № 9.

3. Prirodoobustrojstvo: Uchebnik dlya vuzov/ Pod red. A.I. Golovanova. – M.: Izdatelstvo «Lanj», 2015. – 595 s.

4. Golovanov A.I., Pestov L.F., Maksimov S.A. Geokhimiya tehnoprirodnih landshaftov. – M.: MGUP, 2006. – 201 s.

The material was received at the editorial office  
30.05.2016

### Information about the author

**Maksimov Sergey Alexeevich**, candidate of technical sciences, associate professor of the chair «Land reclamation and reclamation»; FSBEI HE RSAU-MAA named after C.A. Timiryazev; 127550, Moscow, ul. B. Academicheskaya, d.44; tel.: 8-985-239-68-91; e-mail: s.a.maksimov@mail.ru

\*\*The material was presented in the form of a report 01.06.2016 at the plenary meeting of the conference dedicated to the 50<sup>th</sup> anniversary of the program «About wide development of land reclamation».