

На правах рукописи



ВАЙГЕЛЬ Анастасия Эдуардовна

**АГРОФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПОЧВЕННЫХ КОНСТРУКЦИЙ РАЗНОГО
СТРОЕНИЯ И ИХ ТРАНСФОРМАЦИЯ В ПЕРВЫЕ ГОДЫ
ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ В УСЛОВИЯХ ГОРОДА МОСКВЫ**

Специальность

06.01.03 – АГРОФИЗИКА

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата биологических наук

Москва 2017

Работа выполнена на кафедре физики и мелиорации почв факультета почвоведения Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова»

Научный руководитель: **Умарова Аминат Батальбиевна**, доктор биологических наук, профессор, заведующая кафедрой физики и мелиорации почв факультета почвоведения ФГБОУ ВО «Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова»

Официальные оппоненты: **Мазиров Михаил Арнольдович**, доктор биологических наук, профессор, заведующий кафедрой земледелия и методики опытного дела факультета агрономии и биотехнологии ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А.Тимирязева»

Белобров Виктор Петрович, доктор сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник, заведующий межинститутским отделом по изучению черноземных почв ФГБНУ «Почвенный институт им. В.В. Докучаева».

Ведущее учреждение: Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Институт физико-химических и биологических проблем почвоведения Российской академии наук»

Защита диссертации состоится «06» июня 2017 года в 15 часов 30 минут в аудитории М-2 на заседании диссертационного совета Д 501.002.13 при ФГБОУ ВО «Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова» по адресу: 119991, ГСП-1, Москва, Ленинские горы, д. 1, стр. 12, МГУ имени М.В. Ломоносова, факультет почвоведения.

С диссертацией можно ознакомиться в Фундаментальной библиотеке ФГБОУ ВО «Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова» (Ломоносовский проспект, 27, отдел диссертаций), на сайтах <http://soil.msu.ru/nauka/uchenyj-sovet> и <http://istina.msu.ru/dissertations/50769255/>

Автореферат разослан « _____ » апреля 2017 года.

Ученый секретарь
диссертационного совета



Костина Наталья Викторовна

Общая характеристика работы

Актуальность проблемы. Современные интенсивные темпы застройки городов и пригородов, быстрое увеличение городского населения и, одновременно, потребность людей проживать в безопасной и комфортной среде ведут к востребованности озеленения городских территорий (Строганова, 1998; Белобров, Замотаев, 2007; Багаева, 2011; Добровольский, Никитин, 2012; Куленкамп и др., 2013; Vanderborght et al., 2002; Ohsowski et al., 2012). Успешность формирования зеленых участков высоко урбанизированных территорий включает на первом этапе создание почвенных конструкций и подбор растительного ассортимента, а в дальнейшем - работы по мониторингу и поддержанию свойств растительного и почвенного покровов в оптимальном состоянии. Большое значение при создании конструктоземов является их способность обеспечивать оптимальный водно-воздушный и питательный режимы для растений и быть долговременными и устойчивыми к условиям городской среды. Создание почвенных конструкций является сложной и актуальной задачей современного почвоведения, имеющей как отчетливо прикладное значение в виде их целевой направленности, так и фундаментальное, так как при их создании, как правило, используются различные по генезису и свойствам субстраты: песок, торф, гумусовые и минеральные почвенные горизонты, различные торфо-песчаные смеси. Выбор субстратов, их соотношение, последовательность размещения в составе конструктозема определяют особенности их функционирования. Кроме того, объединенные в общую систему (конструкцию) и оказавшиеся в условиях не свойственных природным, они будут эволюционировать (Белобров, Замотаев, 2007; Мамонтов и др., 2011; Полякова, Платонычева, 2012; Лысенкова, Рудский, 2014; Степанова и др., 2015; Лебедева и др., 2016; Six et al., 2000; Goncalves et al., 2006; Zimnoch et al., 2010; Hutry et al., 2014; Decina et al., 2016).

Фиксируемая трансформация твердой фазы в конструктоземах возможна уже в первые годы после их создания, так как вначале почвенные конструкции представляют собой насыпные почвы (Умарова, Иванова, 2008; Умарова, 2011; Shein et al., 2010). Передвижение влаги и вовлечение в конвективный перенос растворенных веществ и тонких взвесей ведет к быстрой дифференциации порового пространства и формированию путей миграции гравитационной влаги, что в дальнейшем на порядки замедляет скорости трансформации почв. Это обуславливает актуальность научных исследований в детальном изучении изменения агрофизических свойств

конструктоземов в первые годы после их формирования (Афони́на, 2010; Смагин, 2012; Горбов и др., 2013; Гладов, 2015; Трегубов и др., 2015).

Целью данной работы явилось исследование агрофизических свойств почвенных конструкций разного строения: структурного состояния, пространственной организации твердой фазы и структуры порового пространства почв, водоудерживающих и влагопроводящих характеристик почв, и их трансформации в условиях города Москвы.

Задачи исследования:

1. В лабораторных условиях исследовать гидрологические свойства почвенных субстратов разного генезиса и почвенных конструкций разного строения, определить водоудерживающую способность отдельных горизонтов в составе конструктоземов.
2. Изучить изменение структурного состояния конструктоземов разного строения и влияние обработки гуматами на водоустойчивость агрегатов и биомассу газонных трав в годичном полевом эксперименте на базе почвенного стационара МГУ имени М.В. Ломоносова.
3. Исследовать трансформацию основных агрофизических свойств конструктоземов разного строения: плотности почвы и ее твердой фазы, порозности и гранулометрического состава в первые два года функционирования.
4. Изучить реологическое поведение почвенных горизонтов в составе почвенных конструкций и их изменение как показатель микроструктурности почв и во взаимосвязи со строением порового пространства, определенного путем его визуализации.
5. Определить кривые водоудерживания почвенных горизонтов и почвенно-гидрологические константы, исследовать изменение диапазонов категорий почвенной влаги в первые годы функционирования конструктоземов. Определить динамику биомассы газонных трав.

Научная новизна работы заключается в том, что впервые проведены серийные комплексные исследования агрофизических свойств специально сформированных конструктоземов разного строения, состоящих из одинаковых по составу и массе почвенных субстратов, расположенных в абсолютно идентичных условиях. Показаны различия их влагопроводящих и водоудерживающих характеристик и их трансформация в первые годы функционирования, обусловленная изменением структурных характеристик почвенных горизонтов.

Защищаемые положения:

1. Исследование динамики послойного распределения влажности показало, что дифференцированность профиля обеспечивает лучшую сохранность влаги в почвенной толще, а строение почвенных конструкций одинакового состава влияет на скорость передвижения влаги и растворенных веществ.
2. В полевом годичном эксперименте было установлено, что внесение гуматов в почву при закладке конструктоземов и при их дальнейшей обработке гуматами происходит заметное улучшение структурного состояния почв за счет роста гидрофобных фракций органического вещества, и увеличение биомассы газонных трав.
3. Изучение трансформации агрофизических свойств конструктоземов через два года после начала их функционирования в условиях г. Москвы - гранулометрического состава почв, водоустойчивости агрегатов, основных реологических показателей и микроструктурности, кривых водоудерживания и почвенно-гидрологических констант различных горизонтов, - выявило их взаимосвязь с изменением пространственной организации твердой фазы и структуры порового пространства почв конструктоземов разного строения.

Практическая значимость полученных результатов связана с объектом исследования – конструктоземов, целевая направленность которых заключается в их использовании для задач городского озеленения и выращивания травянистых растений. Проведенные эксперименты показали, что в первые два года функционирования наиболее продуктивными являются слоистые почвенные конструкции вследствие меньшего диапазона варьирования значений влажности почв и стабильных величин запасов влаги при иссушении. Агрофизическая деградация конструктоземов связана с трансформацией пространственной организации твердой фазы почв. Это дает основания рекомендовать проведение мониторинга агрофизических характеристик почв в городском озеленении.

Личный вклад автора состоит в подборе и анализе научной литературы, участия в организации и проведении лабораторных и полевых работ, статистической обработки экспериментальных данных, обобщении и интерпретации результатов, представлении исследования на научных конференциях, подготовки публикаций и настоящей рукописи.

Апробация работы. Основные результаты работы были представлены на XIV Международной научной конференции Докучаевские молодежные чтения «Почвы в условиях природных и антропогенных стрессов» (Санкт-Петербург, 2011); XV

Международной научной конференции Докучаевские молодежные чтения «Почва как природная биогемембрана» (Санкт-Петербург, 2012); XVI Международной научной конференции Докучаевские молодежные чтения «Законы почвоведения: новые вызовы» (Санкт-Петербург, 2013); на VI съезде Общества почвоведов им. В.В. Докучаева (Петрозаводск, 2012), на заседаниях кафедры физики и мелиорации почв МГУ имени М.В. Ломоносова (2012-2016 гг.).

Публикации. По материалам диссертации опубликовано 12 печатных работ, из них 2 в реферируемых журналах, входящих в список ВАК Минобрнауки РФ для опубликования результатов диссертационных работ.

Структура и объем работы. Диссертационная работа состоит из введения, 5 глав, заключения, списка литературы и приложения, и включает 137 страниц машинописного текста, 37 рисунков, 8 таблиц. Список литературы включает 202 наименований, из них 53 на иностранных языках.

Благодарности. Автор выражает глубокую признательность и благодарность своему научному руководителю, зав. кафедрой физики и мелиорации почв Умаровой А.Б. за постоянное внимание, консультации, и неоценимую помощь в подготовке данной работы. Отдельную благодарность проф. Шеину Е.В. и д.б.н. Зубковой Т.А. за ценные замечания и советы. Автор выражает благодарность лаборатории электронной микроскопии биологического факультета и лично Давидовичу Г.Н., заслуженному преподавателю МГУ им. М.В. Ломоносова Початковой Т.А., к.б.н. Степанову А.А., аспирантке Сусленковой М.А., а также сотрудникам кафедры физики и мелиорации почв за помощь в проведении научных экспериментов, консультации и поддержку при выполнении работы.

Глава 1. Современные взгляды на почвенные конструкции.

Литературный обзор.

В главе рассмотрены вопросы роли агрофизических свойств и их влияния на рост и развитие травянистых растений в гумидной зоне (Воронин, 1984; Тюльдюков и др., 2002; Стома, 2003; Шеин, 2005; Шеин, Гончаров, 2006; Пугина, 2007; Умарова, Кирдяшкин, 2007; Николаева и др., 2008; Корст и др., 2010; Безуглова и др., 2012; Ильинская и др., 2012; Муромцев, 2013; Гулаев и др., 2014; Хайдапова и др., 2014; Allen, 1985; Kuhne, 2001; Wraith, 2002; Glazovskaya, 2004; Scharenbroch, 2005; Köhne et al., 2006; Pachepsky et al., 2006; Segal et al., 2008; Phoon et al., 2010; Pouyat et al., 2010 и др.). Рассмотрены антропогенно-преобразованные почвы, а также городские почвы (Ковда, Розанов, 1988; Тонконогов, Шишов, 1990; Сапожников, 1996; Хитров,

1998; Мамонтов и др., 2011; Степанова и др., 2015; Тагивердиев и др., 2015; Лебедева и др., 2016; Six et al., 2000 и др.). Широко освещен вопрос трансформации антропогенно-преобразованных почв и почвенных конструкций в процессе их функционирования (Курбатова, 2004; Курбатова и др., 2004; Прокофьева, Строгонова, 2004; Мещеряков и др., 2005; Козлова и др., 2006; Шергина, 2006; Белобров, Голубев, 2007; Белобров, Замотаев, 2007; Истомин и др., 2010; Смагин, 2012; Замотаев, Белобров, 2014; Walker, 2003; Goncalves et al., 2006; Zimnoch et al., 2010; Hutyrа et al., 2014; Decina et al., 2016 и др.).

Глава 2. Объекты и методы исследования

2.1. Характеристика объектов исследования

2.1.1. Лабораторный эксперимент. Модельный эксперимент для исследования процессов увлажнения, иссушения и миграции воды в конструктоземах проводился на пяти почвенных колонках, высотой 18 см и диаметром 11 см. Было создано пять вариантов почвенных колонок: (1) заполненная речным песком второго класса крупности, который относится к строительному песку и наиболее часто используется в городских условиях и при строительстве. (2) заполненная гор. В урбанозема территории МГУ. (3) Колонка была заполнена низинным обогащенным пакетированным торфом «Селигер–Агро». (4) Слоистая колонка, состоящая из слоев гор. В– торф – песок– гор. В, мощностью 6-3-3-6 см соответственно. (5) Смесь гор. В, песка и торфа, количественно соответствующие массовому отношению горизонтов слоистой конструкции.

2.1.2. Полевой модельный эксперимент по изучению влияния строения почвенных конструкций на биомассу газонных трав. Весной 2011 г. на территории Почвенного стационара были сконструированы 9 экспериментальных площадок, площадью 1 м² и мощностью 0,36 м. Вариант 1– аналог лабораторной смешанной колонки, вариант 2 явился аналогом лабораторной слоистой колонки, мощности слоев которого увеличены в 2 раза. Третий – слоистая конструкция с добавлением жидкого торфяного гумата калия «Флексом» для газонных трав. На всех экспериментальных площадках поддерживались одинаковые условия.

2.1.3. Полевой модельный эксперимент по изучению изменения свойств почвенных конструкций на первом этапе функционирования. Весной 2012 года был заложен второй полевой эксперимент на базе почвенного стационара МГУ для изучения изменения свойств почвенных конструкций в процессе первых двух лет функционирования (рис. 1).

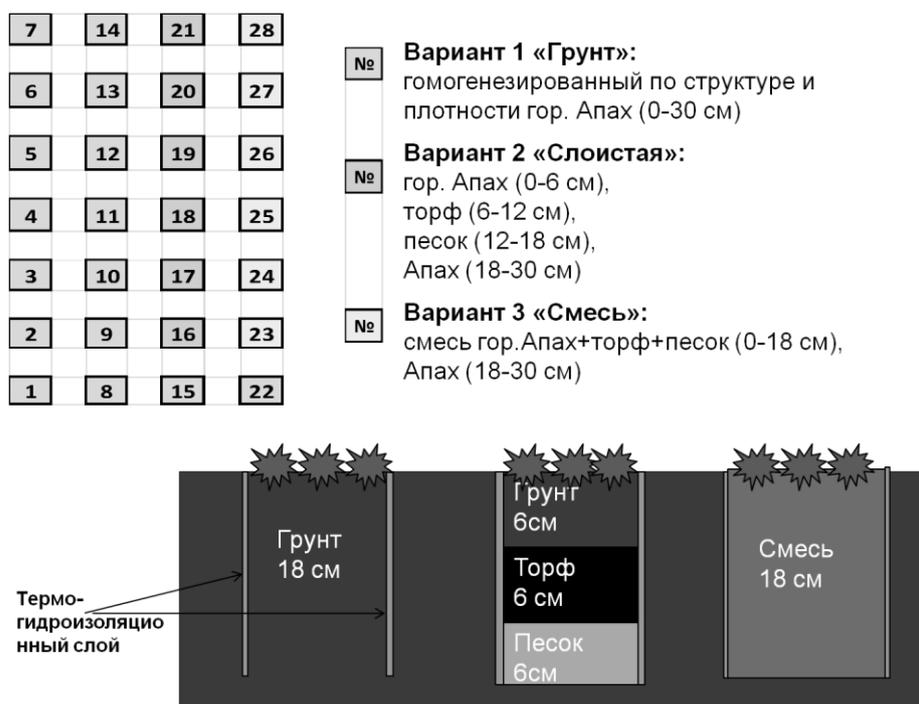


Рис. 1. Схема полевого эксперимента по изучению твердофазных свойств почв.

Всего было создано 28 опытных площадок, площадью 50*50 см и мощностью 30 см. Были созданы 3 варианта конструкций со следующими строениями профилей: (1) Контроль - гомогенизированный по структуре и плотности гор. Апах урбанозема Почвенного стационара МГУ (0-30 см). (2) Слоистая конструкция, состоящая из: гор. Апах (0-6 см), торф (6-12 см), песок (12-18 см), Апах (18-30 см). (3) Смешанная конструкция, состоящая из гор. А, торфа и песка в соотношении 1,5:1:1,92 по сухой массе, в соответствии с массовым соотношением компонентов, соответствующем слоистой конструкции. Был осуществлен высев газонных трав (овсяница красная (*Festuca rubra*) и райграс пастбищный (*Lolium perenne*)). На протяжении всего эксперимента (2 года) площадки подвергались одинаковой обработке.

2.2 Методы исследования. Определение физических свойств почв проводили общепринятыми методами (Вадюнина, Корчагина, 1986; Воронин, 1986; Шеин и др., 2001; Теории и методы..., 2007): плотность твердой фазы - пикнометрически, влажность - стандартно-весовым методом, удельная поверхность - методом низкотемпературной адсорбции азота с расчетом полной удельной поверхности по уравнению БЭТ, определение основной гидрофизической характеристики методом десорбции паров воды над насыщенными растворами солей и тензиостатическим методом на монолитах. Гранулометрический состав был определен методом лазерной дифрактометрии на приборе Analysette-22 Comfort», реологическое поведение твердой фазы на вискозиметре РЕОТЕСТ-2 (Теории и методы..., 2007), содержание общего углерода на экспресс-анализаторе АН-7529М (Когут и др., 1993),

фракционирование органических макромолекул методом гидрофобной хроматографии с использованием в качестве рабочей матрицы модифицированной «сшитой» агарозы «Pharmacia» - «Sephadex G-75». Определение актуальной и потенциальной кислотности, содержания подвижных форм калия, фосфора и общего азота общепринятыми методами (Орлов, 1985; Минеев, 2004; Воробьева, 2005; Аринушкина, 1970). Получение выходных кривых ионов проведено методом лабораторных фильтрационных экспериментов с последующим определением концентраций и активности ионов потенциометрическим методом и методом пламенной фотометрии (Теория и методы., 2007). Определения физических и химических свойств велись в 3-х кратной повторности. Компьютерная съемка пространственной организации твердой фазы почвенных монолитов проведена на микрофотографе Yamato TDM-1000 и методом сканирующей электронной микроскопии на приборе CamScan и Jeol JSM, с данными элементного состава образцов. Обработка полученных данных проведена в пакетах MS Office и Statistica.

Глава 3. Гидрологические характеристики конструктороземов разного строения: модельные лабораторные исследования

На почвенных колонках в полностью контролируемых лабораторных условиях были детально исследованы гидрологические свойства отдельных почвенных горизонтов и конструктороземов разного строения: водоудерживание и миграция влаги и растворенных веществ. Было обнаружено, что наиболее высокие значения коэффициента фильтрации K_f имели торфяные и песчаные колонки - 1930 и 730 см/сут соответственно, что обусловлено высокими объемами пор гравитации. Смешанная и слоистая конструкции имели различные величины миграции влаги и, соответственно, разные классы фильтрации по Эггельсману (1978): 27 см/сут (пониженный) и 325 см/сут (высокий), хотя количество торфа и песка в данных конструкциях было одинаково, отличалось лишь их пространственное расположение.

Были получены выходные кривые ионов на нижней границе почвенных колонок (рис. 2) и оценена функциональная специфика порового пространства почв. В гор. В выходные кривые калия расположены значительно ниже кривых хлорид-иона (рис. 2-а), что связано с высокой дисперсностью и агрегированностью горизонта.

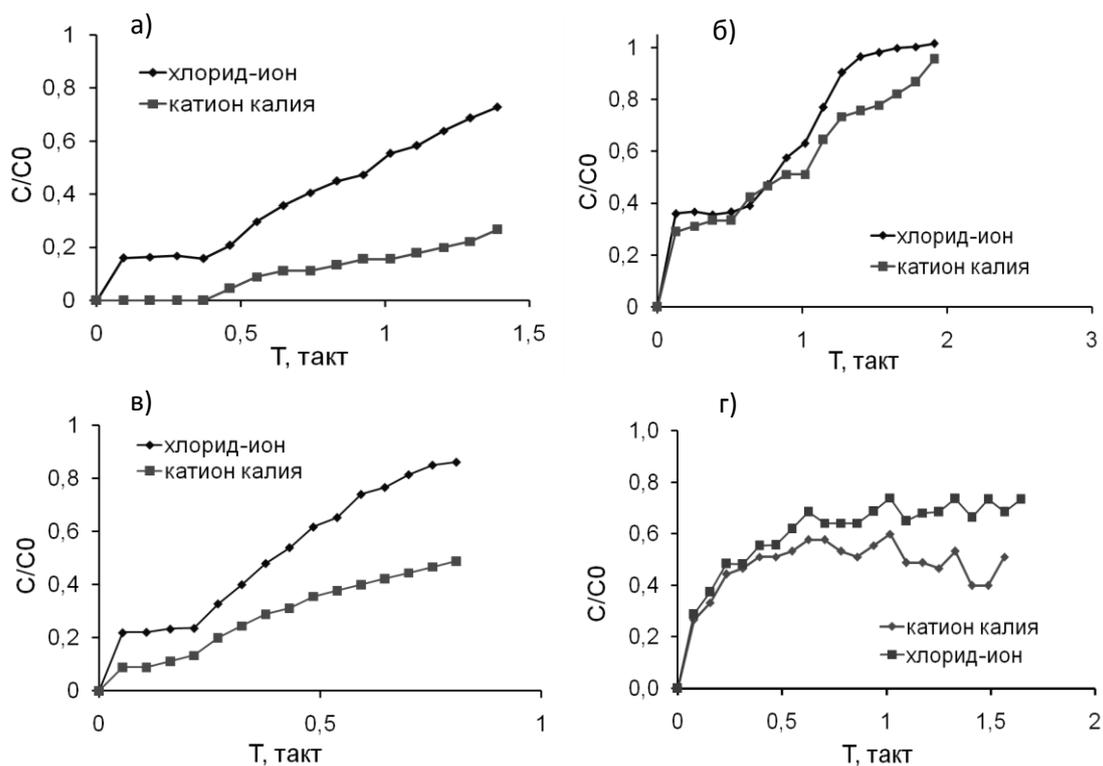


Рис. 2. Выходные кривые ионов калия и хлора насыпных колонок: а) горизонт В, б) песок, в) слоистая, г) смесь.

Выход сорбирующегося и несорбирующегося ионов в песчаной колонке почти одновременный (рис. 2-б), что обусловлено практически полным отсутствием внутриагрегатной порозности. В слоистой колонке (рис. 2-в) наибольшее влияние на массоперенос оказал гор. В, расположенный на верхней и нижней границе колонки. В смеси (рис. 2-г) наблюдается быстрое возрастание концентраций и близкое расположение кривых, что свидетельствует о преимущественно фильтрационном типе движения почвенной влаги с низким значением $K\phi$ (Дмитриев, 1971).

В течение двух недель исследовалась динамика вертикального распределения влажности в процессе иссушения (рис. 3). Начальное распределение влажности колонки с торфом неравномерное, увеличивающееся с глубиной, что свидетельствует о значительном вкладе капиллярных пор. Слоистые колонки (рис. 3-г) имели отчетливо дифференцированный профиль по влажности: с резким возрастанием значений в торфяном слое и резким снижением в песчаном. В колонках со смесью (рис. 3-д) высокое варьирование начального распределения влажности (1 день) обусловлено малым размером отбираемых почвенных проб, соизмеримых с размером компонентов почвенных горизонтов.

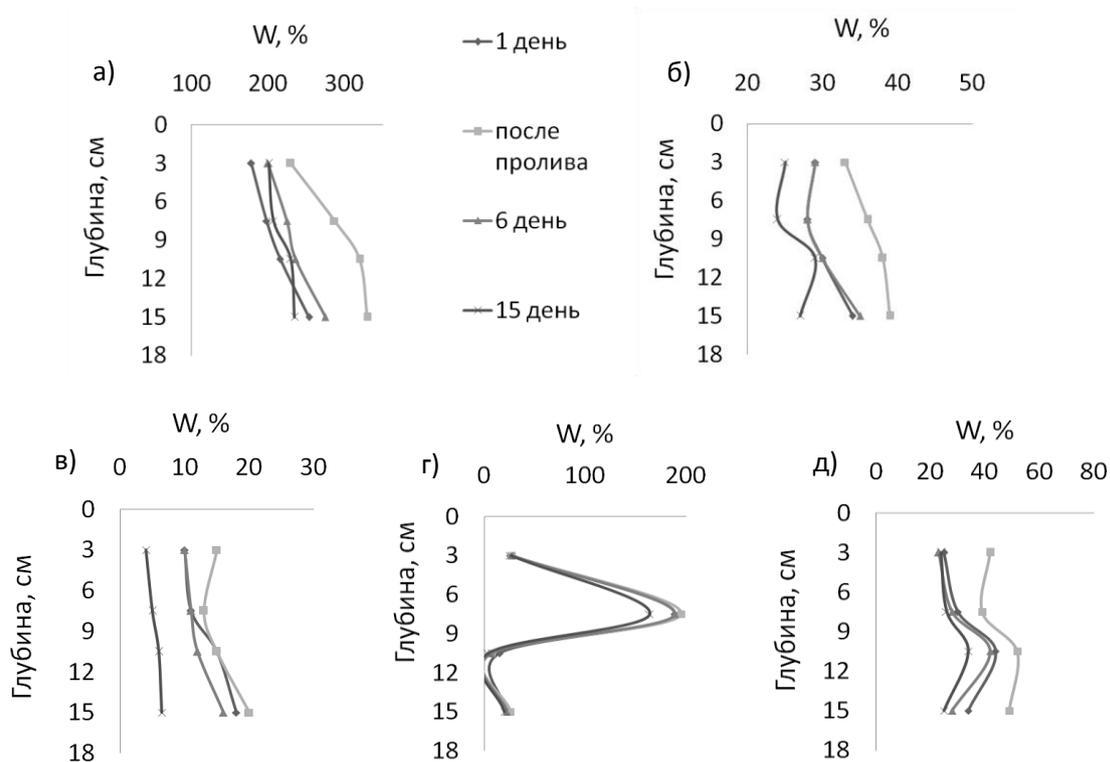


Рис. 3. Вертикальное распределение влажности в исследуемых почвенных колонках перед поливом, после окончания фильтрации влаги, на 6 и 15 день, где а) колонка с торфом, б) с горизонтом В, в) с песком, г) слоистая, д) смесь.

Был проведен расчет послойных и общих запасов влаги в мм водного слоя. На рис. 4 представлены запасы влаги (ЗВ) отдельных горизонтов в составе слоистой колонки и в слое моноколонки для той же глубины (рис. 4). Песок в слоистой колонке обладал большими ЗВ лишь в момент капиллярного насыщения, чем аналогичный слой в колонке из песка (рис. 4-а), а в процессе иссушения резко снизил значения, что обусловлено влиянием граничных слоев – торфа и гор. В с высокой водоудерживающей способностью. Торфяной слой в отсутствии разрывов капилляров лучше удерживает воду (рис. 4-б). В колонке из гор. В и в верхнем слое слоистой колонки динамика влажности и ЗВ очень близки (рис. 3-б, г, 4-в). В то же время на нижней границе слоистой колонки и аналогичного слоя в колонке с гор. В ЗВ значительно отличаются (рис. 4-г). Вероятно, это обусловлено влиянием расположенного выше песчаного слоя, слабо удерживающего воду.

Динамика содержания общих ЗВ исследуемых почв в разные временные промежутки показала, что высокие значения характерны для торфа, гор. В и смешанной колонки. В процессе иссушения торф постепенно снижал содержание влаги, а в гор. В и смеси произошло резкое уменьшение ЗВ к 15 дню опыта. Слоистая колонка на протяжении всего опыта сохраняла высокую стабильность содержания

влаги, и к концу эксперимента значения ЗВ оказались близкими к ЗВ смешанной конструкции, значения которой изначально были больше почти в 1,5 раза.

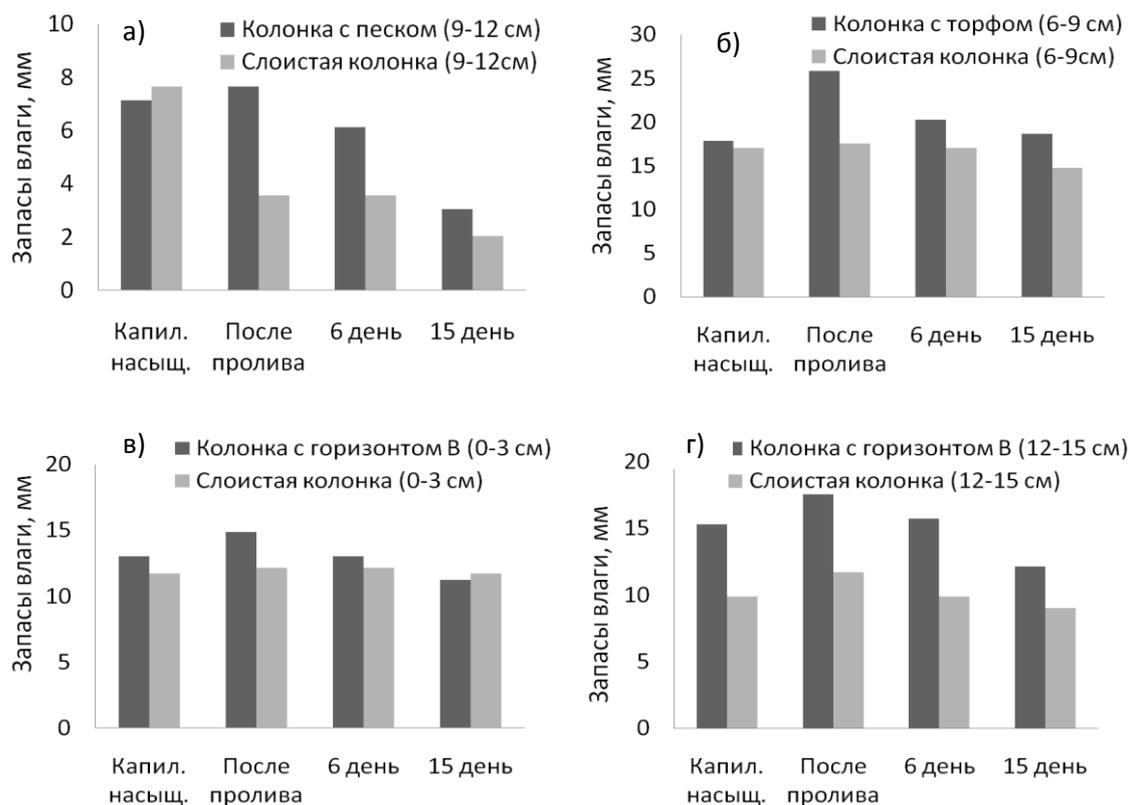


Рис. 4. Запасы влаги в слоях мощностью 3 см, состоящих: а) из песка, б) из торфа, в) из горизонта В (верхний слой колонки), г) из горизонта В (нижний слой колонки).

Таким образом, дифференцированность профиля привела к меньшему росту влажности при увлажнении и большей сохранности влаги при иссушении по сравнению со смешанной конструкцией, состоящей из того же количества почвенных субстратов.

Глава 4. Трансформация структурного состояния конструкторземов при внесении гуматов и влияние строения почвенных конструкций на биомассу газонных трав

Для изучения трансформации структурного состояния конструкторземов на Почвенном стационаре МГУ были созданы почвенные конструкции, аналогичные лабораторным. Особенность полевого этапа экспериментов заключалась в том, что в отдельные конструкции были внесены гуматы для исследования их влияния на структуру почв и биомассу газонных трав.

Обнаружено, что наибольшее количество агрономически ценных агрегатов представлено в верхнем слое 0-12 см (91%) смешанной конструкции. В верхнем слое гор. В слоистых конструкций значения оказались очень близким - около 80%. Однако внесение гуматов увеличило количество водоустойчивых агрегатов с 9 до 15%, хотя в целом данный показатель продолжал иметь низкие значения. Небольшие дозы

гуматов практически не изменили количество органического углерода в верхнем гор. В слоистой конструкции. Однако их влияние проявилось опосредованно, замедлением скоростей деградации торфяного горизонта, расположенного на глубине 10-20 см: содержание углерода в торфяном слое без добавления гуматов ниже на 2,5%, чем в горизонте с гуматами. Интересно, что и в нижележащем песчаном слое также обнаружено увеличение содержания углерода с 0,02 до 0,5%.

Большую роль в образовании агрегатов и деградации структуры почв имеет органическое вещество и его гидрофобность (Шеин, Милановский 2003; Степанов, 2008). Для анализа изменений в структуре почв и роли органического вещества исследовались гидрофобные и гидрофильные фракции. На хроматограмме исходного образца торфа выделялся четкий, мощный пик органического вещества с гидрофильной поверхностью.

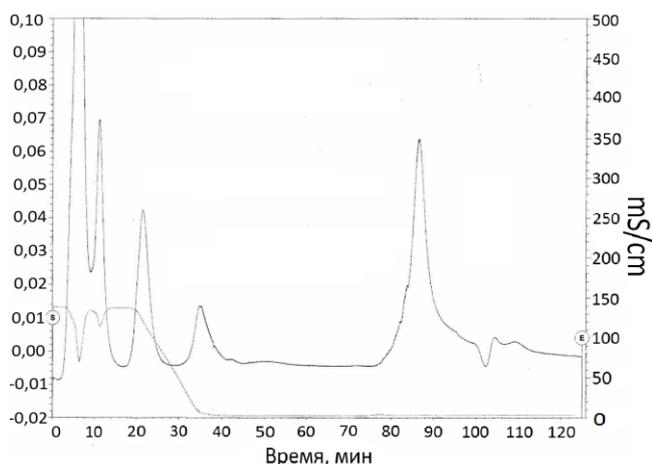


Рис. 5. Хроматограмма образца почвенной смеси после годового функционирования.

Через год при добавлении гуматов в торфе произошло заметно усиление гидрофобных и гидрофильных пиков. В смеси через год после начала функционирования были представлены как гидрофобные, так и гидрофильные фракции, что свидетельствует о разнообразии органических веществ (рис. 5).

Показатель hrh (показатель степени гидрофобности ГВ, рассчитываемый как отношение площадей гидрофобных фракций к гидрофильным) в данном варианте составил 0,9813. Добавление гуматов привело к заметному улучшению структурного состояния почв и водоустойчивости агрегатов уже в первый год функционирования конструкторов, что отразилось на результатах структурного анализа почв.

Измерения биомассы газонных трав, которые были высеяны весной 2011 года, выявили отчетливые различия между вариантами (рис. 6). Наибольшие значения характерны для смешанных конструкций, наименьшие - для слоистой конструкции без добавления гуматов (рис.6-контр.). Для слоистых конструкций добавление гуматов при их закладке увеличило биомассу газонных трав с 151 до 193 ц/га (рис. 6-контр.).

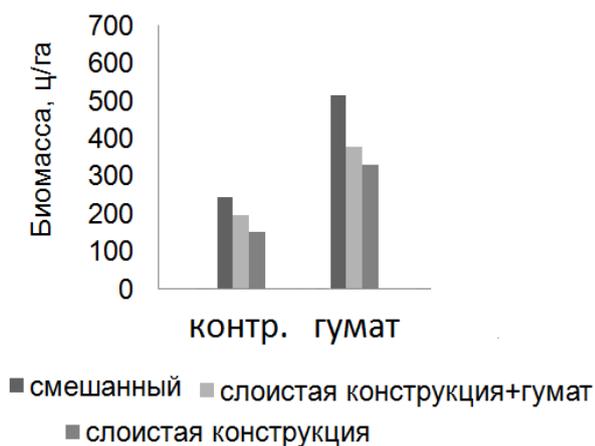


Рис. 6. Диаграмма биомассы газонных трав на исследуемых почвенных конструкциях за вегетационный период

При этом дополнительное внесение гуматов в процессе функционирования конструкций (рис. 6-гумат) резко повысило биомассу всех вариантов. Так, в смеси она увеличилась с 242 до 511 ц/га, а в слоистой конструкции изменилась с 151 до 326 ц/га, причем в нем же при дополнительном внесении гуматов при закладке почвенных конструкций - с 193 до 376 ц/га.

Глава 5. Трансформация свойств твердой фазы и гидрофизических характеристик конструкторземов на начальном этапе их функционирования

Целью второго полевого этапа исследований стала оценка влияния строения конструкторземов на их трансформацию в период первых 2 лет функционирования.

5.1. Основные физические и химические свойства конструкторземов.

Определение основных физических и химических свойств было проведено для исходных образцов и отобранных из конструкторземов через 2 года после их закладки.

Торф в составе слоистой конструкции увеличил свою плотность и плотность твердой фазы, хотя продолжал оставаться весьма пористым. Закономерно высокое содержание углерода в исходном торфе слоистой конструкции снизилось почти на 20%, а в смешанной конструкции – с 8,15% до 4,85% к 2014 году. Реакция среды конструкторзёма из гор. Апах (контроль) стала более кислой, особенно на глубине 10-20 см, также снизилось значение рН в песке. В целом, во всех вариантах актуальная кислотность имеет значения, являющиеся оптимальными для газонных трав.

5.2. Изменение гранулометрического состава конструкторземов.

В контроле содержание ила увеличилось на 2% (с 5,7 до 7,77), а в смеси - снизилось в верхнем слое, вероятно, вследствие ее миграции. О транзитной миграции тонких фракций в первые годы функционирования почв, свидетельствует и гранулометрический состав песчаного слоя, в котором содержание физической глины увеличилось почти в полтора раза (с 1,98 до 3,23). По-видимому, в первые годы в насыпных почвах преобладал т.н. фильтрационный тип перемещения почвенной влаги, активно вовлекавший в миграцию растворенные вещества и тонкие фракции. Однако, по грациям Качинского (Вадюнина, Корчагина, 1986) значимых изменений не

произошло. С целью детального исследования трансформации механического состава почв были использованы статистические показатели: коэффициент однообразия Cu (Шеин, 2005) и показатели вероятностных функций по Березину (табл. 1).

Таблица 1. Значения коэффициента однообразия Cu , показатели вероятностных функций по Березину: содержание глинистых компонентов ($\Phi 5, \%$), дисперсность глинистых компонентов (k) исследуемых конструкторземов.

Почвенные образцы		Cu			$\Phi 5, \%$			k		
		2012	2013	2014	2012	2013	2014	2012	2013	2014
Апах	0-6 см	1,86	3,33	3,67	21,88	32,31	28,30	0,84	0,88	0,80
	6-12 см		3,00	2,75		27,18	25,97		0,87	0,85
	10-20 см		3,33	3,33		30,57	28,86		0,87	0,85
Слоистая	0-6 см	1,86	2,33	3,00	21,88	22,14	25,28	0,84	0,88	0,88
	12-18 см	2,93	3,16	2,95	1,98	3,23	1,83	0,65	0,72	0,50
	>18 см	1,86	2,03	2,86	21,88	24,36	31,11	0,84	0,84	0,85
Смешанная	0-5 см	16,36	4,14	6,19	12,80	8,51	6,11	0,91	0,87	0,86
	5-10 см		7,00	14,40		17,08	8,62		0,92	0,91
	10-20 см		23,90	23,50		17,31	12,81		0,91	1,12

Коэффициент однообразия увеличился в верхнем гор. Апах, как в составе контроля, так и слоистой конструкции, что свидетельствует о росте разнообразия частиц по размерам. В смеси произошло снижение Cu в верхней части исследуемой толщи и увеличение в нижней, что связано с началом процессов текстурной дифференциации. Заметные изменения показателей по Березину коснулись лишь глинистых компонентов. В конструкции из Апах не наблюдается значительных изменений этих показателей, хотя и наблюдается некоторое увеличение их количества. В слоистой конструкции отмечен рост доли глинистых компонентов в нижней части исследуемой толщи, почва перешла по градации Березина из легкого суглинка в средний. В смеси через два года функционирования профиль стал дифференцированным, изменяясь от песка на поверхности до легкого суглинка, что согласуется с показателем однообразия. По k все горизонты во все исследованные годы относятся к мелкопылеватым. Т.о., гранулометрический состав в процессе 2-х летнего функционирования конструкторземов претерпел заметные изменения в результате происходящих процессов элювиально-иллювиального характера, фиксируемых при статистической обработке данных вероятностными функциями.

5.3. Основные реологические показатели горизонтов конструкторземов и их изменение. В начале эксперимента реологические кривые гор. Апах соответствовали форме, характерной жидкостям, а кривые торфа и песка - твердым телам. На

реологическое поведение смеси (рис. 6-в) в большей степени оказал влияние торфяной компонент: формы кривых близки. Максимальные напряжения сдвига наблюдались в смеси (200-1300 Па), ниже в торфе (200-700 Па), песке (100-500 Па) и наименьшее в гор. Апах (5-150 Па).

Форма основной реологической кривой и поведение прямой и обратной ветви всех трех циклов образца гор. Апах спустя 2 года функционирования схожи с исходной, хотя значения напряжения сдвига сильно понизились, что говорит о меньшей связности структуры, увеличении дисперсности (рис. 6-а, б). Это согласуется с изменением гранулометрического состава почв.

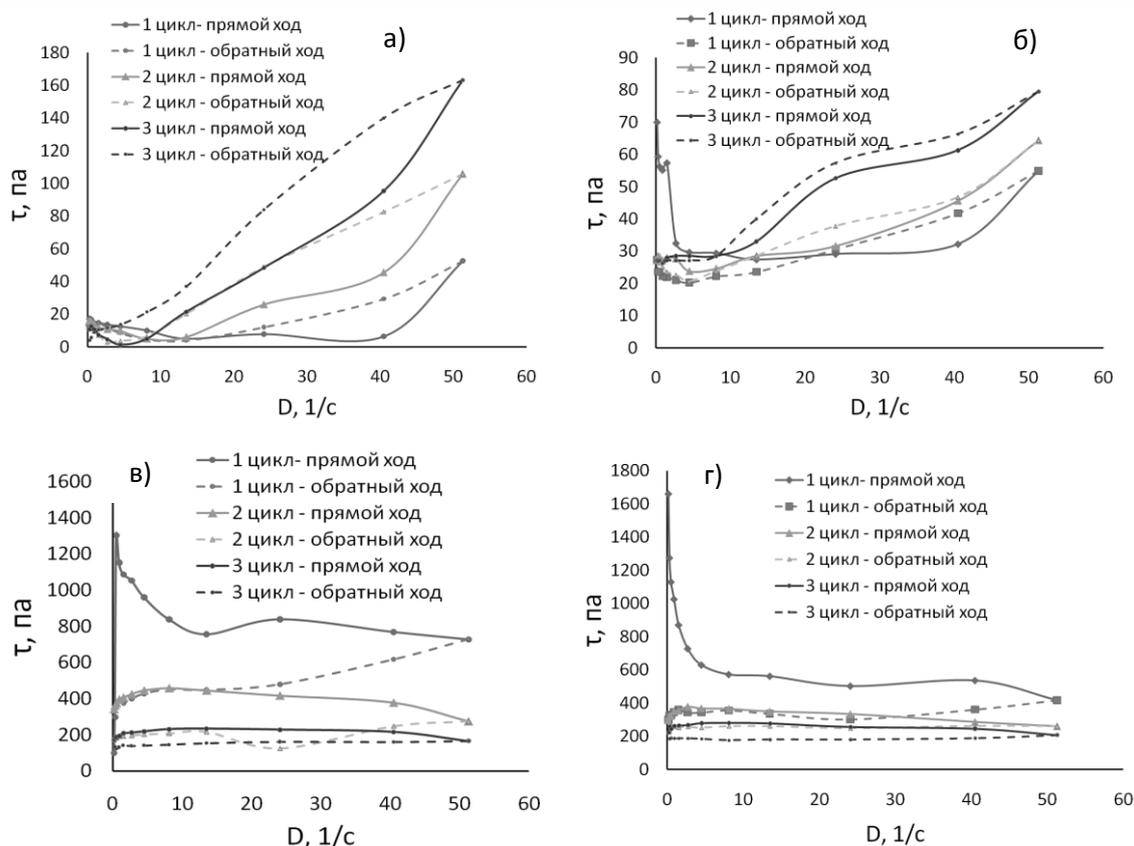


Рис. 6. Основная реологическая кривая исходного образца Апах (а) и через 2 года после функционирования (б); исходного образца смеси (в) и через 2 года после функционирования (г).

В смеси формы основной реологической кривой и поведение прямой и обратной ветви всех трех циклов спустя 2 года функционирования схожи с исходным (рис. 6-в, г), однако сдвиговая прочность увеличилась, что говорит об увеличении количества структурных связей и их прочности (рис. 6-г).

Таким образом, гор. Апах приобрел более дисперсную, разрушенную структуру, снизилась его микроагрегированность. Основная реологическая кривая конструкторема смеси после функционирования наоборот говорит о более прочной структуре, чем у исходного образца.

5.4. Исследования микроструктурности почв с помощью визуальных методов. Методом электронной сканирующей микроскопии обнаружено, что исходные образцы гор. Апах к 2013 г. в составе слоистой конструкции имеют весьма округлую форму и стали существенно более мелкими при сравнении фотографий одного масштаба (рис. 7). Это согласуется с реологическим поведением горизонта, выявившим снижение микроструктурности. В песчаном слое появились включения мелких частиц органической природы, что согласуется с данными по динамике гранулометрического состава и содержания углерода в слое.

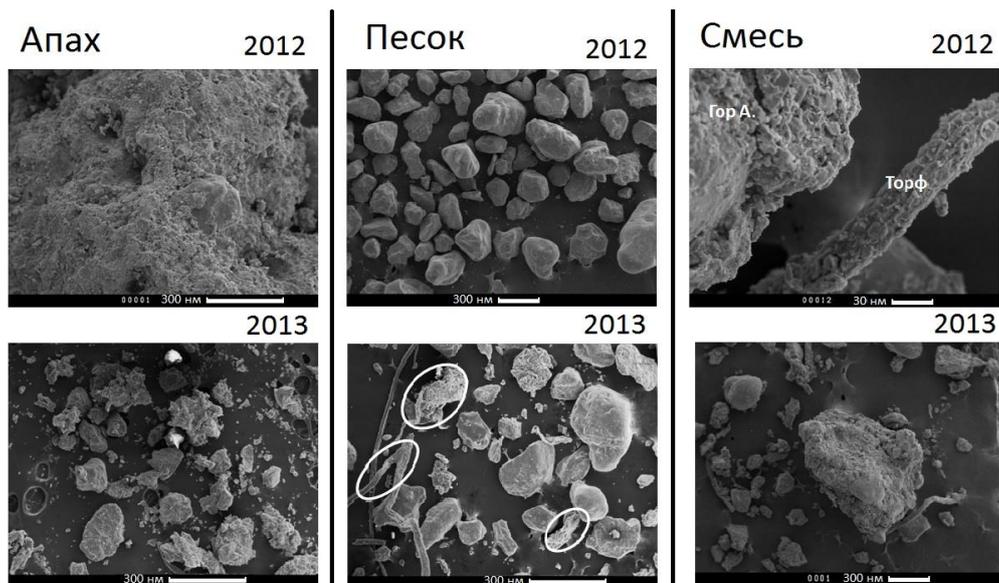


Рис. 7. Результаты исследования горизонта Апах (0-6 см), песка (12-18см) смешанного конструктозёма исходного образца (2012) и через год функционирования (2013).

В смеси начальное расположение компонентов представлено отдельными фрагментами торфа, песка и гор. Апах, не находившихся в связи друг с другом, (рис. 7). Уже через год крупные фракции торфа не выделяются, они являются гораздо более мелкими, так же как и агрегаты гор. Апах, что повысило вязкость субстрата по реологическим характеристикам.

Другим визуальным способом исследования твердой фазы почв стала **рентгеновская компьютерная микротомография**, показавшая, что исходный гор. Апах был рыхлым, в нем можно увидеть большое количество пустот (рис. 8), он не имел начальной целостной архитектуры, т.к. представлял собой насыпную почву. Но через 2 вегетационных сезона пор и полостей стало значительно меньше. Снижение микроагрегированности по результатам анализа реологических кривых и увеличение количества мелких агрегатов по результатам микроморфологической съемки привело к возможности более плотной упаковки структурных отдельностей, приведшим к

уменьшению объема межагрегатной порозности и увеличению плотности в среднем с 1,2 до 1,34 г/см³.

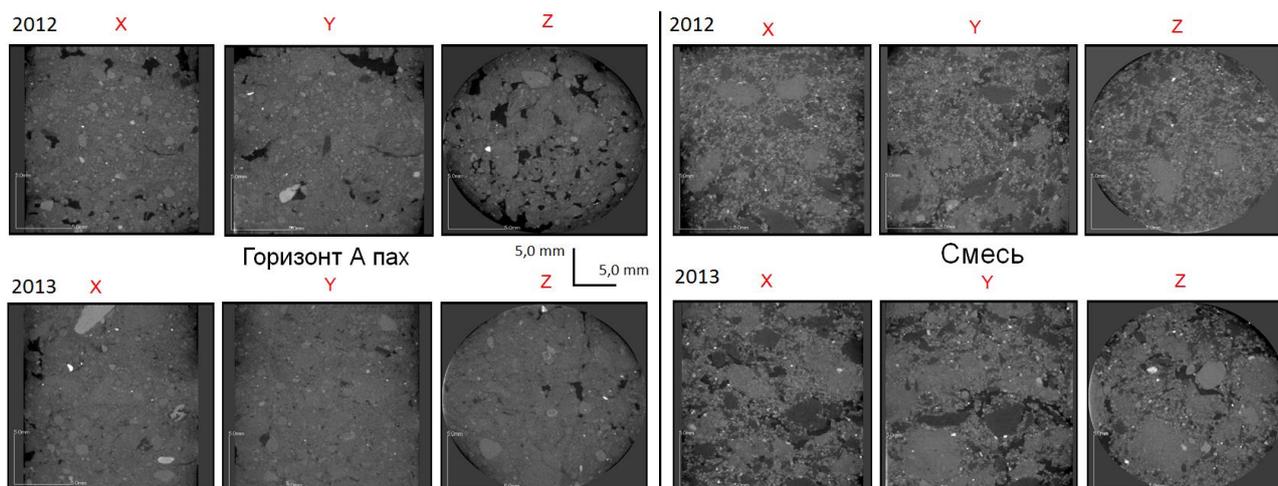


Рис. 8. Томографические срезы почвенных монолитов Апах и смеси исходного образца (2012) и через год функционирования (2013).

Иная картина в образце смеси: в начале эксперимента данный вариант имел весьма хаотичное расположение отдельных фрагментов с диффузным строением порового пространства. Через год функционирования конструктором выглядел более агрегированным с отчетливо выделяемыми порами и полостями. Хотя значительная часть продолжала оставаться несколько диффузной.

Таким образом, в обеих почвенных конструкциях отмечается появление и увеличение дифференцированности порового пространства, и вероятно формирование путей миграции гравитационной влаги.

5.5. Изменения основной гидрофизической характеристики (ОГХ).

Описанные изменения должны были отразиться на функциональной характеристике порового пространства почв, которой является основная гидрофизическая характеристика (ОГХ) (рис. 9). Исходные образцы заметно отличались по форме и расположению ОГХ. Торфяной слой закономерно обладал высокой водоудерживающей способностью, песок также закономерно занимал крайнее левое положение на графиках. Монолиты торфяного слоя в составе слоистой конструкции несколько снизили водоудерживающую способность. Смесь отличалась повышенным водоудерживанием, несмотря на то, что количество внесенного песка соизмеримо с количеством торфа. Однако именно торф оказал сильное влияние на кривую ОГХ данного варианта, аналогичное заключение было сделано по данным реологических исследований. Гор. Апах претерпел лишь некоторые изменения, как в составе контрольного варианта, так и в составе слоистой конструкции. Наблюдается

смещение нижней части кривых ОГХ, что свидетельствует о снижении объема гравитационных пор.

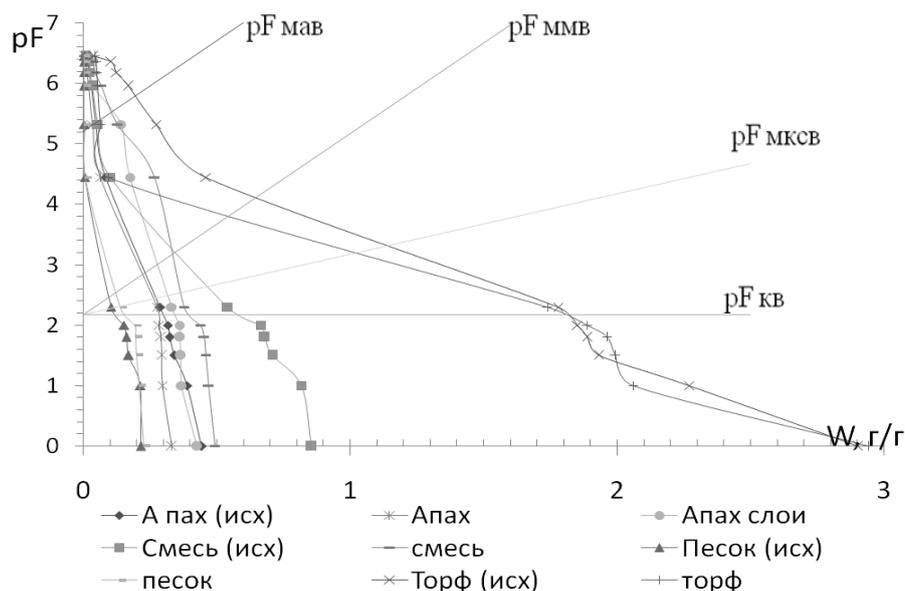


Рис. 9. Основная гидрофизическая характеристика (ОГХ) почвенных конструкций.

Это согласуется с визуальной картиной архитектуры почвы данного варианта по результатам томографической съемки, выявившей более плотную упаковку мелких агрегатов.

Методом секущих по Воронину (Воронин, 1986) были определены почвенно-гидрологические константы и рассчитаны диапазоны гравитационной, продуктивной и легкоподвижной влаги (табл. 2).

Таблица 2. Диапазоны гравитационной, продуктивной и легкоподвижной влаги для исследуемых конструктоземов.

горизонты	ПВ-НВ (гравитационная), %	НВ-ВЗ (продуктивная), %	НВ-ВРК (легкоподвижная), %
Апах (исх)	15,5	18	4
Апах	9,1	20,5	4,5
Апах слои	12,5	14	4
Смесь (исх)	17,1	31	12
Смесь	5,7	9	3,5
Песок (исх)	12,7	7	1
Песок	6,1	9,5	1,5
Торф (исх)	108,6	55	49
Торф	97,1	79	49

В гор. Апах диапазон гравитационной влаги (или воздухоемкость при НВ) сузился с 15,5% (исх) до 9,1% (конструктозем из Апах), а в составе в слоистой конструкции меньше - 12,5% (табл. 2). Смесь в процессе функционирования также уменьшила диапазон гравитационной влаги по отношению к исходному с 17,1% до

5,7%. Аналогичные изменения произошли также со слоями торфа и песка слоистого конструктозема. Диапазон доступной или продуктивной влаги в гор. Апах контроля слабо изменился - с 18% до 20,5%, а в составе слоистого конструктозема понизился с первоначальных 18% до 14%. В смеси его уменьшение с 31% до 9%. В составе диапазона доступной влаги диапазон НВ-ВРК характеризует подвижную и легкодоступную влагу для растений. Его изменения для всех горизонтов всех вариантов оказались не столько значимы, за исключением смеси с 12 до 3,5 к 2014 году, что согласуется с визуальными картинками трансформации его порового пространства и реологическим поведением.

Таким образом, исследования гидрофизических параметров конструктоземов и их трансформации через два года функционирования обнаружили заметные изменения, как форм кривых ОГХ и величин почвенно-гидрологических констант, так и диапазонов категорий почвенной влаги, что является следствием дифференцированности порового пространства, изменения микроструктурности твердой фазы почвы.

5.6. Динамика биомассы газонных трав на конструктоземах разного строения. Большое значение при исследовании успешности той или иной почвенной конструкции имеют показатели продуктивности.

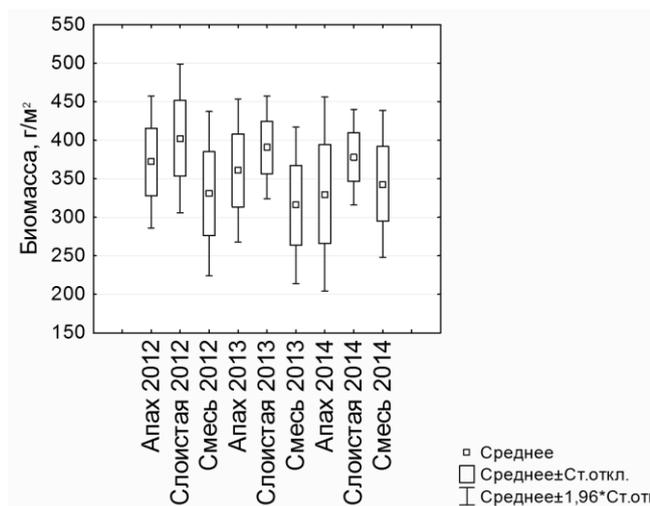


Рис. 10. Медианы и квартили значений сухой биомассы конструктоземов 2012 по 2014 г.г.

Отметим, что по данным ФГБУ «ВНИИГМИ-МЦД» в периоды с мая по сентябрь практически не наблюдалось аномальных температур и нехарактерных для этого периода количества осадков. Летом 2012, 2013 и 2014 года были проведены исследования динамики биомассы газонных трав и рассчитаны медианные значения и квартили (рис. 10). Укосы трав проводились дважды в месяц

В начале эксперимента наиболее высокий прирост биомассы наблюдался на площадках слоистых конструкций. В отличие от первого полевого этапа на конструктоземах с использованием гор. В, в котором смесь имела наибольшие

значения прироста газонных трав, замена минерального горизонта гумусовым привела к увеличению продуктивности слоистых конструкторов. Наибольшие медианные значения биомассы в первые два года исследований выше в слоистых конструкциях, чуть ниже в конструкциях из гомогенизированного гор. Апах, и наименьшие величины в смеси. Следует отметить, что между вариантами конструкторов слоистый и смесь разница значений биомассы статистически значимая. Обращает так же внимание большой разброс значений в грунтовой и смешанной конструкциях. Слоистая конструкция показала себя, как наиболее стабильная по показателям биомассы, что легко прослеживается по границам расположения 25%-75%, и согласуется с полученными результатами модельных лабораторных экспериментов, выявившие наиболее стабильные запасы почвенной влаги при ее поступлении и дальнейшем иссушении в данном варианте конструкторов.

ВЫВОДЫ:

1. Исследование гидрологических свойств отдельных почвенных субстратов и почвенных колонок разного строения, количественно состоящих из одинаковых горизонтов, выявили различия между вариантами, заключающиеся:
 - в различных скоростях переноса влаги и растворенных веществ. Коэффициент фильтрации слоистой почвенной конструкции имел высокий класс фильтрации по классификации Эггельсмана и составил 310-345 см/сут, и пониженный (17-34 см/сут) - в смеси, что обусловлено меньшим вкладом в массоперенос гравитационных пор. Это подтверждается близким расположением выходных кривых ионов хлора и калия в смешанной конструкции и свидетельствует о преобладании в нем фильтрационного типа движения влаги, в отличие от слоистой, в которой наблюдалось запаздывание калийной метки.
 - в различиях динамики послойного распределения влажности и запасов влаги. В составе слоистой конструкции наблюдались более низкие значения влажности всех горизонтов по сравнению с колонками, состоящими из одного горизонта, что обусловлено взаимным влиянием слоев. В процессе иссушения наблюдалось постепенное снижение запасов влаги во всех колонках к 15 дню. Исключение составил вариант слоистой конструкции, в котором дифференцированность профиля обеспечила лучшую сохранность влаги в почвенной толще.
2. Изучение трансформации структуры почв конструкций на фоне внесения и обработки гуматами в полевом годичном эксперименте показало высокую агрегированность и водоустойчивость агрегатов в смешанных конструкциях,

согласующуюся с отчетливо выделяемым пиком гидрофобной фракции органического вещества почв. Наибольшие значения биомассы газонных трав также отмечены для данного варианта, причем внесение гуматов в процессе функционирования конструктоземов привело к увеличению биомассы трав во всех исследованных вариантах.

3. Трансформация основных агрофизических свойств конструктоземов была зафиксирована через два года после начала их функционирования. Произошло закономерное увеличение плотности почв, хотя торф в составе слоистой конструкции продолжал иметь очень низкие значения, что обусловило высокую пористость данного слоя. Изменения в гранулометрическом составе почв были определены расчетом вероятностных параметров по Березину, выявившим увеличение доли глинистых компонентов в нижней части слоистой конструкции и появлению дифференцированности профиля по содержанию тонких фракций и их дисперсности – в смешанной конструкции. Изменений гранулометрических показателей для песчаных компонентов не заметно.
4. Высокая чувствительность к трансформации твердой фазы обнаружена для основных реологических показателей почв при влажности, близкой к значениям капиллярной влагоемкости. На реологическое поведение смеси большое влияние оказало включение в его состав низинного торфа: форма реологических кривых и максимальные значения напряжения сдвига оказались наиболее близки. В составе слоистой конструкции сдвигающая прочность и вязкость торфа увеличились при неизменности форм реологических кривых. Пахотный горизонт после 2-летнего функционирования стал более дисперсным, а смесь, наоборот, повысила свою микрооструктуренность. Изменения в песчаном слое не выражены, хотя, согласно микроморфологическим исследованиям поверхности твердой фазы он обогатился мельчайшими фрагментами торфа, расположенного выше. Выявлено уменьшение размеров микроагрегатов верхних горизонтов слоистой и смешанной конструкций. Методом рентгеновской компьютерной томографии через год после начала функционирования конструктоземов обнаружено увеличение плотности упаковки агрегатов в образцах ненарушенного сложения горизонта Апах. В смеси произошло снижение диффузности строения порового пространства и увеличение его дифференцированности с визуально выделяемыми порами и полостями.
5. Определение основных гидрофизических характеристик (ОГХ) показало, что монолиты торфяного слоя в составе слоистой конструкции имеют значительно меньшую водоудерживающую способность по сравнению с исходным. Смещение

нижней части кривой ОГХ в область меньших значений влажности обнаружено для смеси, и в меньшей степени для пахотного горизонта, что согласуется с данными томографической съемки. Это привело к изменению значений почвенно-гидрологических констант и диапазонов категорий почвенной влаги. В горизонте Апах в составе слоистой конструкции произошло возрастание значений почвенно-гидрологических констант и, одновременно, снижение диапазона продуктивной влаги, что обусловлено влиянием подстилающего его торфяного слоя, обладающего высокой водоудерживающей способностью. Наибольшие изменения коснулись смешанной конструкции: в нем резко снизились диапазоны гравитационной, легкоподвижной и продуктивной влаги, что связано с трансформацией пространственной организации твердой фазы почв и структуры порового пространства, визуальными зафиксированные микроморфологическими и томографическими методами.

6. Исследования биомассы газонных трав в течение трех вегетационных периодов 2012-2014 года показали наиболее высокие величины для слоистых конструкций на фоне меньшего разброса значений, что вероятно обусловлено широким диапазоном продуктивной и легкоподвижной влаги торфяного горизонта и наличием резких границ, обеспечивающих, согласно модельным лабораторным экспериментам, большую стабильность запасов влаги при иссушении.

СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

1. Умарова А.Б., Вайгель А.Э., Кокорева А.А., Сусленкова М.М., Бутылкина М.А. **Функционирование специализированных почвенных конструкций в условиях города Москвы // Вестник Оренбургского государственного университета. — 2013. — № 10 (159). — С. 355–358.**
2. Вайгель А.Э., Умарова А.Б., Сусленкова М.М., Початкова Т.Н. **Изменение свойств твердофазных компонентов почвенных конструкций в первые годы их функционирования // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. — 2014. — № 5 (115). — С. 44–48.**
3. Вайгель А. Э., Умарова А. Б. **Перенос растворенных веществ и тепла в отдельных почвенных горизонтах и слоистой почвенной конструкции // Материалы Всероссийской научной конференции XIV Докучаевские молодежные чтения «Почвы в условиях природных и антропогенных стрессов» / Под ред. Б.Ф. Апарина. — Издательский дом С.-Петербургского государственного университета. — 2011. — С. 299–302.**

4. **Вайгель А.Э.** Функционирование и трансформация специализированных почвенных конструкций для городского озеленения // Материалы Международной научной конференции XV Докучаевские молодежные чтения «Почва как природная биогемембрана» / Под ред. Б.Ф. Апарина. — СПб.: ВВМ, 2012. — С. 165–167.
5. Кокорева А. А., Умарова А. Б., **Вайгель А. Э.**, Бутылкина М. А. Физически обоснованное моделирование водного режима почвенных конструкций // Материалы докладов VI съезда Общества почвоведов им. В.В. Докучаева. Всероссийская с международным участием научная конференция «Почвы России: современное состояние, перспективы изучения и использования» (Петрозаводск – Москва, 13-18 августа 2012 г.). — Т. 1. — Петрозаводск: Карельский научный центр РАН, 2012. — С. 181–183.
6. Бутылкина М.А., Умарова А.Б., Кокорева А.А., **Вайгель А.Э.**, Торбик Е.В. Передвижение влаги и растворенных веществ в текстурно-дифференцированных почвах и слоистых почвенных конструкциях // Материалы докладов VI съезда Всероссийского общества почвоведов им. В.В. Докучаева. Всероссийская с международным участием научная конференция «Почвы России: современное состояние, перспективы изучения и использования» (Петрозаводск – Москва, 13-18 августа 2012 г.). — Т. 2. — Петрозаводск: Карельский научный центр РАН, 2012. — С. 23–24.
7. **Вайгель А.Э.**, Умарова А.Б., Степанов А.А. Изменение свойств почвенных конструкций в процессе их функционирования: модельные полевые и лабораторные эксперименты // Материалы докладов VI съезда Всероссийского общества почвоведов им. В.В. Докучаева. Всероссийская с международным участием научная конференция «Почвы России: современное состояние, перспективы изучения и использования» (Петрозаводск – Москва, 13-18 августа 2012 г.). — Т. 2. — Петрозаводск: Карельский научный центр РАН, 2012. — С. 26–27.
8. **Вайгель А.Э.** Функционирование почвенных конструкций в условиях озеленения города // Материалы Международной научной конференции XVI Докучаевские молодежные чтения Законы почвоведения: новые вызовы / Под ред. Б.Ф. Апарина. — СПб.: Издательский дом С.-Петербургского государственного университета, 2013. — С. 154–156.
9. Умарова А.Б., **Вайгель А.Э.**, Ежелев З.С., Сусленкова М.М., Початкова Т.Н. Изменение дисперсности и формирование агрегатной структуры почвенных горизонтов в первые годы функционирования конструктоземов // Материалы

всероссийской открытой конференции "Почвенные и земельные ресурсы: состояние, оценка, использование". — Москва, 2014. — с. 426–430.

10. Сусленкова М.М., Умарова А.Б., **Вайгель А.Э.** Особенности трансформации твердой фазы почв в процессе функционирования конструктоземов разного строения // Почвоведение – продовольственной и экологической безопасности страны: тезисы докладов VII съезда Общества почвоведов им. В.В. Докучаева и Всероссийской с международным участием научной конференции. Часть I / Отв. ред.: С.А. Шоба, И.Ю. Савин. — Москва-Белгород: Издательский дом Белгород, 2016. — С. 381–382.

11. Гасина А.И., Умарова А.Б., Десницкая И.В., **Вайгель А.Э.**, Дунаева А.А. Гидрологический режим конструктоземов разного строения в условиях г. Москвы // Почвоведение – продовольственной и экологической безопасности страны: тезисы докладов VII съезда Общества почвоведов им. В.В. Докучаева и Всероссийской с международным участием научной конференции. Часть I / Отв. ред.: С.А. Шоба, И.Ю. Савин. — Москва-Белгород: Издательский дом Белгород, 2016. — С. 343–344.

12. **Vaigel A.**, Umarova A., Suslenkova M., Butilkina M., Kokoreva A., Suhaia O. Specialized soil constructions: technologies, properties, functioning // *Почвоведение и агрохимия (Казахстан)*, 2014 (4), с. 9–16, ISSN 1999-740X.