МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ИМЕНИ М.В. ЛОМОНОСОВА
ФАКУЛЬТЕТ ПОЧВОВЕДЕНИЯ

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

ДИССЕРТАЦИЯ
на соискание ученой степени кандидата биологических наук

Научный руководитель:
доктор биологических наук, профессор
Умарова А.Б.

Москва – 2017

ОГЛАВЛЕНИЕ:

ВВЕДЕНИЕ 4
Глава 1. Современные взгляды на почвенные конструкции. Литературный обзор 9
1.1. Агрофизические свойства почв и их роль для успешного роста и развития травянистых растений в гумидной зоне 10
1.1.1. Основные агрофизические свойства почв 11
1.1.2. Водный режим и водоудерживающая способность почв 20
1.1.3. Влагопроводность и перенос веществ в почвах 23
1.2. Антропогенно-преобразованные почвы: свойства и режимы 25
1.3. Городские почвы, особенности строения, свойств и режимов 29
1.4. Трансформация антропогенно-преобразованных почв и конструктоземов в процессе функционирования 32
1.4.1. Развитие представлений о перемещении влаги в почвенных конструкциях 34
1.4.2. Трансформация искусственно созданных почв в процессе их функционирования 37
1.4.3. Современные взгляды на роль почвенных конструкций и проблемы успешности их функционирования 39
1.4.4. Почвенные конструкции в г. Москве: задачи их создания и функционирования 42
Глава 2. Объекты и методы исследования 46
2.1. Характеристика объектов исследования 46
2.1.1. Лабораторный эксперимент по исследованию гидрологических характеристик почвенных конструкций 46
2.1.2. Полевой модельный эксперимент по изучению влияния строения почвенных конструкций на биомассу газонных трав 50
2.1.3. Полевой модельный эксперимент по изучению изменения свойств почвенных конструкций на первом этапе их функционирования 53
2.2. Методы исследования 56
Глава 3. Гидрологические характеристики конструктоземов разного строения: модельные лабораторные исследования 60
Глава 4. Трансформация структурного состояния конструктоземов при внесении гуматов и влияние строения почвенных конструкций на биомассу газонных трав 72
Глава 5. Трансформация свойств твердой фазы и гидрофизических характеристик конструктоземов на начальном этапе их

функционирования 82
5.1. Основные физические и химические свойства конструктоземов 82
5.2. Изменение гранулометрического состава конструктоземов 84
5.3. Основные реологические показатели горизонтов конструктоземов и их изменение 89
5.4. Исследования микроструктуренности почв с помощью визуальных методов 94
5.5. Изменения основной гидрофизической характеристики (ОГХ) 101
5.6. Динамика биомассы газонных трав на конструктоземах разного строения 107

ВЫВОДЫ 111
Список литературы 114
Приложение 134

ВВЕДЕНИЕ

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 интересной 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; Sixt et al., 2000; Goncalves et al., 2006; Zimnoch et al., 2010; Hutyra 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 обусловливает актуальность научных исследований в детальном изучении изменения агрофизических свойств конструктоземов в первые годы после их формирования, с учетом особенностей условий их функционирования (в первую очередь, климатических) и применяемой агротехники (Афонина, 2010; Смагин, 2012; Горбов и др., 2013; Гладов, 2015; Трегубов и др., 2015).

В связи с этим, **целью данной работы** явилось исследование агрофизических свойств целевых 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 микроструктуренности 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 представленной 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.

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. Эта дает основания рекомендовать проведение мониторинга агрофизических характеристик почв в городском озеленении.

Личный вклад автора состоит в подборе и обобщение литературного материала, участие в организации и проведении полевых работ и модельного эксперимента, лабораторный анализ отобранных образцов почв, статистическая обработка массива экспериментальных данных, обобщение и интерпретация полученных результатов, представление исследования на научных конференциях, подготовка публикаций и настоящей рукописи.

Апробация работы. Материалы и основные положения 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 биогеомембрана» (Санкт-Петербург, 2012); XVI Международной научной конференции Докучаевские молодежные чтения «Законы почвоведения: новые вызовы» (Санкт-Петербург, 2013); а также на VI съезде Общества почвоведов им. В.В. Докучаева (Петрозаводск, 2012) и 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 (обзора литературы; описания объектов и методов исследования; главы гидрологических характеристик конструктоземов разного строения: модельные лабораторные исследования; главы трансформации структурного состояния конструктоземов при внесении гуматов и влияние строения почвенных конструкций на биомассу газонных трав; главы трансформации свойств твердой фазы и гидрофизических характеристик конструктоземов на начальном этапе их функционирования), заключения, списка использованной литературы и приложения, и включает 137 стр. машинописного текста, 37 рисунков, 8 таблиц. Список использованной литературы включает 202 наименований, из них 53 на иностранных языках.

Благодарности. Автор выражает глубокую признательность и благодарность своему научному руководителю, заведующей кафедры физики и мелиорации почв Умаровой А.Б. за постоянное внимание, консультации, и неоценимую помощь в подготовке данной работы. Отдельную благодарность профессору Шеину Е.В. и ведущему научному сотруднику 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. за помощь в проведении научных экспериментов и консультации. Также аспирантке 3 года обучения Сусленковой М.А., а также всем сотрудникам кафедры физики и мелиорации почв за помощь и постоянную поддержку, оказанные при выполнении работы.

Глава 1. Современные взгляды на почвенные конструкции. Литературный обзор.

Почва один из основных природных ресурсов, она выполняет экологические, экономические и социальные функции, являясь не только сельскохозяйственным ресурсом, но и занимая важное место в окружающей среде и функционировании всей экосистемы. В связи с увеличением антропогенного воздействия на окружающую среду, в настоящее время одним из основных направлений в почвоведении является анализ и оценка экологического состояния почв. Большое внимание уделяется взаимосвязи человека и окружающей среды (Багаева, 2011; Добровольский, Никитин, 2012; Vanderborght et al., 2002).

Актуальность данных исследований особенно очевидна для урбанистических экосистем. При взаимодействии человека с экосистемами отчетливо заметны изменения в экологической сфере (Быков, Мурзин, 1997; Добровольский, Никитин, 2012). Одной из наиболее ярко выраженных урбанистических территорий является городская среда, в которой антропогенная нагрузка на компоненты ландшафта, в том числе, на почвенный покров, очень велика.

Понятие городских почв возникло не так давно, однако их исследования являются одним из наиболее популярных и востребованных направлений современного почвоведения. Городские почвы представляют собой важнейший компонент городских экосистем. Значительная их часть представлена конструктоземами - искусственно созданными, слоистыми почвами, как правило, широко распространенными под газонами. Впервые этот русскоязычный термин был введен в работе Строгановой с соавторами (Строганова, 1998).

Особенностью большинства искусственно создаваемых почв является четко выраженные границы почвенных горизонтов, возникающие при их формировании. Но и в естественных условиях дифференцированный профиль почвы – явление весьма распространенное, он формируется в результате длительного процесса почвообразования, ведущего к определенной изменчивости

свойств почвенного профиля по вертикали (Cox, Whelan, 2000; Chen et al., 2016) и является наиболее близким природным гидрологическим аналогом городских почв.

Под текстурно-дифференцированными почвами понимаются такие почвы, в профиле которых хорошо выражена дифференциация горизонтов по гранулометрическому составу (Классификация и диагностика…, 2004). Верхние горизонты, как правило, обогащены песчаной фракцией (остаточное накопление), а нижележащие иллювиальные горизонты – илистой фракцией.

Конструирование почв для определенных целей сложный и инновационный процесс. Основу конструирования почв составляет набор знаний по почвоведению, экологии и ландшафтному проектированию. Наряду с созданием математических моделей конструкций почв, которые имеют ряд допущений, большую ценность представляют методы практического проектирования конструктоземов, позволяющие моделировать и исследовать почвенные конструкции разного строения, получая экспериментальные материалы, являющиеся прямым доказательством их успешности, эволюции, деградации. Одним из наиболее перспективных подходов является первоначальное создание миниатюрной модели конструктозема в лабораторных условиях и исследование особенностей их функционирования (Смагин, 2012; Cox, Whelan, 2000; Chen et al., 2016). При выявлении положительных и интересующих свойств данная модель переносится с миниатюрного масштаба в полноценный масштаб. Наблюдение за моделью происходит уже в естественных условиях.

1.1. Агрофизические свойства почв и их роль для успешного роста и развития травянистых растений в гумидной зоне

Агрофизические свойства почв характеризуют физическое состояние почвы, что определяет условия для успешного роста и развития растений. К основным агрофизическим свойствам почвы относят: структурный состав почв, удельную и объемную массу, влаго-, воздухо-, теплоёмкость и другие (Allen, 1985; Шеин, Гончаров, 2006).

При создании конструктоземов с целью озеленения территорий большинство исследователей основное внимание уделяют подбору растительного ассортимента (Гладов, 2015; Афонина, 2010), агрохимическим характеристикам почв (Тюльдюков и др. 2002, Пугина, 2007, Безуглова и др., 2012). И в меньшей степени - физическим свойствам конструкций, их режимам и строению (Горбов и др., 2013; Трегубов и др., 2015). Однако именно агрофизические свойства обеспечивают оптимальную доступность влаги и питательных элементов, определяют водный, тепловой и газовый режимы почв. Это особенно актуально для гумидной бореальной зоны, к которой относится Москва и Московская область с выраженным среднегодовым избытком влаги и неравномерным распределением ее в течение года на фоне недостаточной обеспеченности теплом в данной климатической зоне.

Основным приемом контроля агроэкологического состояния почв является наблюдение (мониторинг) почвенных свойств, а также создание систематических методик по изучению почвенного покрова, его свойств и режимов (Baeumer,1988).

Создание конструктоземов направлено на формирование высокопродуктивного почвенного слоя для роста и развития декоративных растений. Научное обоснование, а также подходы по проведению мониторинга земель сельскохозяйственного назначения – важнейшая задача и проблема современного агроэкологического мониторинга. Мониторинг плодородия почв является важным элементом в изучении агроэкологического состояния почвы (Немцев и др., 2015).

1.1.1 Основные агрофизические свойства почв

Почвенное плодородие имеет определенный уровень для тех или иных почвенно-климатических условий. Действия человека также вносят свой вклад в формирование почвенного плодородия, формируя т.н. «эффективное плодородие», что, в свою очередь, напрямую зависит от уровня развития науки и агротехники (Шеин и др., 2014).

Для объектов озеленения, в том числе газонов, характеристиками успешности роста и развития газонных трав является их биомасса и декоративность. Рассмотрим некоторые агрофизические свойства почв, влияющие на данные показатели газонного покрытия

Плотность и порозность почв. В характеристике агрофизического состояния почвы большое значение имеет плотность сложения, именно от этого свойства во многом зависят такие важные показатели как воздушный, водный и тепловой балансы. В течение вегетационного периода, как правило, наблюдается естественное колебание плотности почвы в пределах некого равновесного значения. Оно обусловлено обработкой почвы, ростом и развитием корневых систем растений, деятельностью почвенной фауны (Бондарев, 1994). Кроме понятия равновесной плотности, существует понятие оптимальной плотности, разработанное для большинства сельскохозяйственных культур. И равновесная, и оптимальная плотности напрямую зависят от таких показателей как гранулометрический состав, содержание гумуса, водопрочность агрегатов и других характеристик (Шеин, Гончаров, 2006).

Оптимальная плотность напрямую связана с гранулометрическим составом, поэтому для большинства культурных растений характерными значениями для пахотных горизонтов минеральных почв суглинистого типа, являются величины 0,8-1,4 г/см^3 (Шеин, 2005), для песчаных принято считать диапазон 1,4-1,7 г/см^3.

При отклонении от оптимальной величины плотности почвы происходит снижение урожайности. Основной причиной снижения продуктивности переуплотненной почвы является недостаток кислорода и избыток углекислого газа и, как следствие, плохая водопроницаемость и ухудшение водного баланса в целом. Кроме того, плотная почва является барьером для проникновения и развития корневых систем. Показателем, напрямую зависящим от плотности, является пористость почв, которая указывает на общее количество пор и пустот между структурными единицами почвы (Kuhne, 2001). Высокой плотности почвы соответствует низкое значение порозности, что также может свидетельствовать о малом содержании влаги в почве. А при выпадении осадков небольшое

количество пор может быстро заполняться влагой, и корневые системы могут испытывать недостаток воздуха.

Если же почва является чрезмерно рыхлой, т.е. ее значения меньше оптимальных значений, она не способна удержать в достаточном количестве влагу и питательные вещества, происходит излишнее испарение. При недостаточном уплотнении корни имеют плохой контакт с поверхностью твердой фазы, а это означает, что затруднено поступление многих элементов питания в корневые системы растений, что приводит к снижению продуктивности почв (Cousens, 1987).

Именно проблема создания оптимального по своим свойствам слоя и является основной для корнеобитаемого слоя. Первоочередной задачей является не просто разрыхление почвы, но и недопущение ее переуплотнения. И в этом контексте очень остро встает вопрос о современной тяжелой агротехнике. Нередко наблюдается ситуация, когда при многократном использовании техники, которая должна разуплотнять почву, но из-за большого веса и многократных подходов уплотняет почву все глубже и глубже, формируя, таким образом, подпахотное уплотнение (Гулаев и др., 2014). Отметим, что подобное внутрипочвенное переуплотнение зачастую наблюдается в городских конструктоземах, формируемых для озеленения территорий, когда на минеральный, переуплотненный после прохождения строительной техники слой укладывается рыхлый высокогумусный слой, который служит основой для создания газона. Именно поэтому при создании конструктозёмов для целей городского озеленения немаловажную роль играет подготовка участка. И формирование переуплотненного подпахотного слоя является наиболее частой ошибкой при создании конструктозёмов.

Для легких грунтов при создании газонного покрытия используется, как правило, укатка садовыми катками. Для более тяжелых почв - применяется виброплита малого веса (Князева, 2004; Хрусталева, 2009). Тем ни менее, по данным исследований Шаренброча (Scharenbroch, 2005) и Поята с соавторами (Pouyat et all, 2010), варьирование плотности верхнего горизонта городских почв

очень высокое и имеет диапазон от 0,65 до 1,8 г/см^3. Для г. Москвы коэффициент разброса значений плотности верхнего горизонта почв также высокое и достигает 14% (Стома, 2003). При этом в новообразованных горизонтах цветников и газонов средняя плотность очень низкая и составляет всего 0,4-0,6 г/см^3 (Ильяшенко, 2008), что зачастую ведет к просадочным явлениям.

Как отмечалось многими исследователями (Качинский, 1975; Шеин, 2005; Скворцова, Уткаева, 2008), другой немаловажной характеристикой почвы, стоящей в одном ряду с плотностью является **порозность**, которая характеризует сложение почвы. Порозность представляет собой характеристику совокупности почвенных пор, которые различаются как по своим размерам, так и пространственной ориентацией. Порозность представляют в процентном выражении или долях.

Сильное влияние на порозность оказывает структурное строение почвы. За историю агрофизических исследований установлено, что чем более оструктуренная почва, тем более разветвленное поровое пространство почв и тем больше значение общей порозности. Безусловно, это связано как с промежутками между структурными отдельностями, так и, в первую очередь, наличием значительной внутриагрегатной порозности. Именно она определяет функциональную дифференцированность порового пространства почв и обеспечивает комфортность почвенной среды для растений. Нарушение почвенной структуры в результате неправильной обработки почвы или влияния техногенных факторов, как правило, ведет к уменьшению общей порозности, что негативно сказывается на агрофизических свойствах почв (Шеин, Гончаров, 2006).

Заметное влияние на порозность почв оказывает органическое вещество почв: с увеличением его количества происходит возрастание порозности. Так, порозность песка в среднем составляет около 30%, а торфа – около 85% и более. Порозность заметно меняется в зависимости от глубины расположения исследуемого слоя: в верхних слоях она больше, а в нижних – меньше. Объясняется это большим содержанием гумуса и лучшей структурой верхних

горизонтов, воздействием корней растений и роющих животных, а также меньшим давлением вышележащих слоев.

Если говорить об оптимальных значениях объема пор, то для разных видов почв они различны. Качинским Н.А. (1975) было предложено выделить следующие группы, различающиеся по порозности, для культурного пахотного слоя суглинистых и глинистых почв (порозность почв - в $см^3/см^3$): 1) отличная – 0,65-0,55; 2) удовлетворительная – 0,55-0,5; 3) неудовлетворительная – 0,5-0,4; 4) чрезмерно низкая – 0,4-0,25.

Одну из ключевых ролей в почвенном плодородии отдают **гранулометрическому составу почв**. Под гранулометрическим составом понимают: «относительное содержание в почве элементарных почвенных частиц (ЭПЧ) различного диаметра, независимо от их минералогического и химического состава» (Шеин, 2005, стр. 32).

Принято считать, что почвы легкого гранулометрического состава обладают лучшими свойствами проводить влагу (Воронин, 1984), а глинистые почвы удерживают влагу значительно лучше, чем почвы легкого гранулометрического состава, т.е. они чаще характеризуются повышенным содержанием воды и низким содержанием почвенного воздуха. Вследствие этого, тяжелые по гранулометрическому составу почву обладают одной неприятной особенностью, а именно они способны долго прогреваться.

Почвы легкого гранулометрического состава, в первую очередь, такие как супесь и связный песок, наоборот легко проводят влагу, она практически не задерживается. Следствием этого является недостаток влаги для растений. Данные почвы легко прогреваются, в отличие от почв тяжелого гранулометрического состава. Именно поэтому, при конструировании почв очень важно учитывать зональные и местные климатические особенности территории. Так в климате с повышенной влажностью, почвенный воздух является ограничивающим показателем, что порой приводит к значительному снижению урожайности. В засушливой зоне, наоборот,, лимитирующим фактором выступает нехватка влаги.

Данные по гранулометрическому составу при конструировании искусственно создаваемых почвенных конструкций позволяют воспроизводить конструктоземы с заранее заданными свойствами на основании смеси различных фракций (Шеин, 2005).

Большой вклад в оптимальность соотношения влага-воздух вносит **почвенная структура**. Чем лучше структура почвы, тем лучше эта почва будет осуществлять свои функции, и тем будет устойчивее к воздействию различных факторов. Хорошо оструктуренная почва имеет хорошее проникновение и распределение влаги в почвенной толщи. За счет пониженной плотности повышается порозность, что оптимизирует распределение кислорода, питательных веществ, наблюдается более активный газообмен (Сорокина, 2016).

Оценивать структурное состояние почвы возможно визуальными методами. В отечественном почвоведении выделяют 6 типов структур (Шеин, 2005) по форме, на которые распадается почва при её изучении:

- массивная
- зернистая
- столбчатая
- блочная
- пластинчатая
- призматическая

Почвенную структуру образуют почвенные отдельности или педы. По степени их выраженности следует выделять бесструктурные, слабо оформленные, средне оформленные и прочные структурные отдельности. Именно совокупность характеристик почвенных отдельностей по форме и степени отдельности и характеризует структуру почвы. Минусом данной характеристики является отсутствие количественных показателей.

Поэтому для оценки структурного состояния почвы наряду с визуальным осмотром проводят и экспериментальное изучение методом «сухого просеивания» с получением количественных оценочных показателей почвенной структуры (Шеин, 2005). По результатам данного исследования оценивают

содержание агрономически ценных агрегатов (размер агрегатов 0,25 - 10 мм) в изучаемом образце (Вадюина, Корчагин, 1986):

> 60% - отличное агрегатное состояние;

40-60% - хорошее агрегатное состояние;

< 40% - неудовлетворительное агрегатное состояние.

Наряду с данной характеристикой, возможно, использовать коэффициент структурности:

$$K_{стр} = \frac{\sum(10 - 0{,}25мм)}{\sum(>10мм; < 0{,}25мм)};$$

Значение коэффициента структурности >1,5 характеризует отличное агрегатное состояние почвы; 0,67-1,5 – хорошее агрегатное состояние; <0,67 неудовлетворительное.

Почвенная структура оказывает влияние на урожайность культур. Было показано (Медведев, 1988), что урожай и биомасса растений увеличивается при преобладании агрегатов размером 2-5 мм, которые, как было отмечено выше, относятся к группе агрономически ценных агрегатов. Результатом проведенных экспериментов стало подтверждение важности и необходимости поддержания оптимального водного, воздушного и теплового режима для произрастания растений.

Очень важно, чтобы структура почвы была устойчивой к воздействию влаги. Подобным образом, но методом «мокрого просеивания», возможно, также оценивать водоустойчивость почвенной структуры (Шеин, 2005).

Одним из показателей почвенной микроструктуры является **реологическое поведение почв**. Почвенные агрегаты и элементарные почвенные части взаимодействуя с жидкой фазой почв, образуют некую структурную систему, которую принято называть почвенной структурой. Реологические свойства почв отражают характер взаимодействия твердой и жидкой фаз почв и являются характеристиками структурного состояния (Шеин, 2005).

По данным исследований Шеина с соавторами (Шеин и др., 2016) установлено, что почвенная структура тесно связана с фундаментальными

физико-химическими свойствами поверхности твердой фазы. При этом роль реологических исследований почв, характеризующих микроструктуру почв, не стоит недооценивать. Реологические исследования помогают дать оценку прочности связей, участвующих в образовании почвенной структуры. Следует отметить, что реологические свойства почвы связаны с поверхностными явлениями в высокодисперсной ее части.

Рассматривая реологические свойства почвы, следует понимать, что таким образом мы рассматриваем структурные свойства исследуемого объекта. В данном контексте весьма показательны исследования Д.Д. Хайдаповой с соавторами (Хайдапова и др., 2014) об оценке восстановления структуры почв под влиянием выращивания лесополос на нарушенных территориях реологическими методами. Ими на примере верхних слоев (0-10 см) горизонта А чернозема типичного опытного поля Курского НИИ агропромышленного производства и соседнего участка залежи (60 лет) в виде лесополосы было показана значительная структурная устойчивость почв лесополосы по сравнению с пашней. А также ими показано, что выращивание лесополос на нарушенных почвах приводит к восстановлению структурных свойств почв.

Реологические свойства почв, как в целом и агрофизические свойства почв зависят от агрономических приемов: обработки почвы, внесения минеральных удобрений и различных добавок, применения мелиоративных приемов, использования научно-обоснованных севооборотов (Glazovskaya, 2004; Николаева и др., 2008).

В настоящее время также одним из перспективных и интересных методов изучения почвенной толщи являются **методы микроморфологии.** Они позволяют визуально определить сложение и взаимное расположение слагающих почв материалов, а в некоторых случаях дают возможность получить информацию о составе слагающих компонентов. Впервые данный метод нашел отражение в работах австрийского почвоведа Вальтера Кубиены (Kubiena, 1938), им были введены основные фундаментальные понятия в мировое почвоведение. Этот метод позволяет по отдельным признакам и чертам диагностировать и

прогнозировать признаки, которые соответствуют предыдущим или же нынешним эпохам, и на ранних стадиях улавливать изменения в почвенной толще. Несомненным плюсом данного метода является то, что объекты могут быть изучены в ненарушенном состоянии, например, почвенные монолиты. Таким образом, почвенная структура предстает перед исследователем в ненарушенном состоянии, ее изучение возможно в любой интересующей точке исследуемой почвы, и может сопровождаться параллельным изучением химического состояния исследуемого образца (Турсина, 2000).

В связи с тем, что микротомография является очень чувствительной к любым пространственным сдвигам в организации материала, изменениям химического анализа, этот метод используют в качестве «экспресс-метода» при контроле почв (Добровольский, 1977; Турсина, 1990).

К настоящему моменту микроморфология получила широкую распространенность в связи с выросшей инструментальной базой, с появлением электронных сканирующих и растровых микроскопов и электронной рентгеновской сканирующей томографии (Корст и др., 2010). Эта инструментальная база позволяет понять, что представляет собой внутреннее пространство образца, хотя раньше это предоставлялось возможным лишь с помощью изучения шлифов и расчетов таких показателей как порозность, плотность сложения и пр.

Другой метод визуализации внутреннего пространства почв является **метод томографии.** Основным и несомненным плюсом получаемых данных томографии – это трехмерные данные и высокое разрешение. Следует отметить, что метод является весьма быстрым и удобным, практически не требует никакой дополнительной подготовки проб. И наконец, как уже отмечалось выше, это уникальная возможность метода, без каких-либо изменений в форме и содержании образца проводить исследования (Герке и др., 2012). Данные визуальные методы дополняют физические образы почв, позволяют обосновать, сравнить, дополнить, данные, полученные традиционными методами

представления пространственной организации твердой азы и порового пространства почв.

Почвенная структура находится в теснейшей взаимосвязи с гидрологическими свойствами почв, возможностями удерживания влаги почвенной толщей и ее миграцией. Водно-физические показатели почв являются одними из наиболее важных в оценке агроэкологического состояния почв. Вода является важнейшим активным компонентом почвы, с одной стороны, с другой стороны, ресурсом, жизненно необходимым для почвенной флоры и фауны. Поэтому ее доступность для растений или задача оптимизации водно-физических свойств почвы является важнейшей для обеспечения плодородно и экологически устойчивой почвенной системы (Ильинская и др., 2012).

В контексте данной работы следует отметить, что ввиду зональных особенностей, большое значение при создании почвенных конструкций в г. Москве имеет формирование хорошо дренирующих и, одновременно, длительно удерживающих влагу почв вследствие избытка поступающих осадков, причем выпадающих весьма неравномерно в течение всего года (Клинова, 1995). Это ведет к периодически наблюдаемым длительным засушливым периодам в летнее время, что ведет к необходимости проведения оросительных мероприятий.

1.1.2. Водный режим и водоудерживающая способность почв

Поведение влаги в почве имеет свои особенности в соответствии со свойствами почв. При попадании на поверхность почвы под влиянием силы тяжести она стекает вниз, частично задерживаясь почвенной толщей. По классическим представлениям физики почв сначала происходит заполнение почвенных пор, ее избыток продвигается вниз по почвенному профилю. Такую избыточную воду называют гравитационной, потому что продвигается она под действием силы тяжести (Pachepsky et al., 2006; Шеин и др., 2007).

По А.А. Роде (1969) свойство почвы удерживать влагу, или водоудерживание является следствием уникального взаимодействия твердой и жидкой фаз. Водоудерживающая способность почв является качественной

характеристикой, позволяющей удерживать влагу в почвенной толще против действия силы тяжести. При этом в физике почв присутствует и другое понятие – влагоемкость, являющееся количественной характеристикой водоудерживающей способности почв.

Существует целый ряд почвенно-гидрологических констант, которые определяют диапазоны категорий почвенной влаги в зависимости от ее подвижности и доступности для растений. Эти константы являются фундаментальными показателями, имеющими практическую значимость. Под насыщенной влагой почвой понимается такое состояние, при котором поступающая влага перестает увеличивать влажность почвы, и все поры заполнены водой, исключение составляет поры с защемленным воздухом (Качинский, 1970). Содержание влаги в почве в данном случае является максимальным. Это состояние характеризует полную влагоемкость (полную вместимость влаги).

Влажность, которая остается постоянной в отсутствии испарения и потребления корневыми системами растений соответствует наименьшему насыщению. Именно такая влажность называется наименьшей влагоемкостью (НВ) – влажность, образовавшаяся после стекания избытка воды, предварительно насыщенной почвы. Значения влажности, характерные для НВ, достигаются через 2-3 дня после полива в хорошо дренируемой почве.

В диапазоне от ПВ до НВ в условиях, когда уровень грунтовых вод залегает на относительно небольшой глубине, происходит процесс дополнительного насыщения почвы под действием капиллярных сил. Образуется так называемая капиллярно подпертая влага (Шеин и др., 2007), влажность соответствует почвенно-гидрологической константе – капиллярной влагоемкости. Ее значение зависит от расстояния до зеркала грунтовых вод, увеличиваясь от величины НВ на границе зоны капиллярной каймы до ПВ на глубине расположения грунтовых вод. Это случай неполного насыщения.

Для характеристики оптимального количества влаги в почве существует понятие влагообеспеченности, являющееся комплексной характеристикой,

представляющей собой отношение запаса продуктивной влаги к запасу влаги, включающее в себя наименьшую влагоемкость и диапазон активной влаги. Под верхним пределом оптимального содержания влаги в почве принимается величина наименьшей влагоемкости (НВ), а нижним – интервал влаги, равный 0,8–0,6 НВ (Качинский, 1970; Воронин, 1984; Роде, 2008; Муромцев, 2013).

Если подойти более строго, то нижним порогом оптимального увлажнения является почвенно-гидрологическая константа – влажность разрыва капилляров. Влажность разрыва капилляров характеризует резкое снижение подвижности почвенной влаги, влага уже не движется единым фронтом, отсутствует единая гидравлическая связь, наблюдается отсутствие общих капилляров, присутствуют только отдельные фрагменты капилляров и часть влаги в виде пленок. Как следствие снижается способность влаги к передвижению, и так же резко падает ее доступность для растений.

Для различных видов почв эта величина колеблется, стандартных методов для определения этой величины нет, зачастую эту величину принято считать близкой к 70% от НВ для суглинистых почв, а для песчаных и супесчаных 50-60% от НВ (Шеин, 2005).

Влажность завядания, это влажность почвы, при которой наблюдаются устойчивые увядания растений с хорошо развитой корневой системой и над корневой частью. Данные изменения растений (потеря тургора листьями растений), не проходят даже после помещения растений на 12 часов в атмосферу наполненную парами воды. (Вадюнина, Корчагина,1986). Данная характеристика не является строго почвенной, она зависит и от вида растения. К примеру, плохая приживаемость хвойных растений в условиях города связана с потребностью данных растений в повышенном увлажнении (вследствие высокой транспирации), особенно в засушливые годы (Жолкевич и др., 1989; Неверова, Ягодкина, 2010; Смагин, 2012). Но еще большими потребностями в водном питании обладает газонная растительность. Значение влажности завядания можно определить расчетным методом с использованием ОГХ. Оно соответствует -15 атм. или около -15000 мм водного столба. Для этого на графике ОГХ откладывают

соответствующую точку и определяют соответствующее ей значение влажности (Шеин, 2005).

Травянистые растения основное питание и влагу получают из верхнего горизонта, ограниченного 20-30 см почвенной толщи, в отличие от древесных, имеющих более глубокую корневую систему. Гибель многих городских цветников в летнее время исследователи связывают не с загрязнением почв, а именно с недостатком увлажнения в жаркий период (Смагин, 2012). Так, к примеру, повторяющиеся засушливые периоды в Москве, имеющие продолжительность до 30 дней, губительно сказываются на газонном покрытии.

1.1.3. Влагопроводность и перенос веществ в почвах

Жидкая фаза почв с позиций успешного роста и развития растений важна не только как количественная характеристика ее оптимального содержания (влажность), но и как фаза, активно перемещающаяся по поровому пространству почвы, растворяющая и вовлекающая в конвективный перенос не только растворенные вещества, но и взвеси, микробиоту. В условиях мегаполиса почвенное водоснабжение является одним из главных факторов успешного произрастания растений (Смагин, 2012). Благодаря математическому аппарату взгляды о передвижении влаги в почве формировались годами и дополняли друг друга (Роде, 1965; Качинский, 1970; Вадюнина, Корчагина, 1986; Зайдельман, 1987; Шеин, 2005; Mualem, Bear, 1974; Mualem, 1976; van Genuchten, 1980; Segal et al., 2008).

На основе изучения основных гидрофизических функций и почвенно-гидрологических констант построено математическое моделирование и прогноз движения влаги и веществ в почвенном профиле. В основе лежат несколько фундаментальных процессов - это конвективный перенос, сорбция, диффузный массоперенос и дисперсионный перенос (Köhne et al., 2006).

Многочисленные исследования доказали, что движущаяся почвенная влага не образует единого равномерного фронта увлажнения, а движется, в том числе, в соответствии с пространственно-временной организацией порового пространства

почв и начальными условиями увлажнения. Движение и характер данного фронта зависит прежде всего от от свойств почв и ее влажности (Роде, 1969; Зайдельман, 1985; Дмитриев и др,1985; Шеин, 2005; Horn, 2008; Jacques et al., 2008).

Движущей силой переноса влаги является градиент ее потенциала. Потенциал, как и другие термодинамические величины, можно разделить на большое количество равновесных обратимых процессов и процессов, бесконечно близких к равновесным процессам (Воронин, 1984; Глобус, 1987).

Перенос влаги происходит в противоположном направлении градиенту движущей силы, т.е. градиенту давления почвенной влаги (Умарова, Кирдяшкин, 2007; Wraith, 2002).

Важной характеристикой при описании потока влаги является коэффициент влагопроводности. Коэффициент влагопроводности не является постоянной величиной для каждого вида почвы, он зависит напрямую от давления почвенной влаги в почве. Этот параметр служит характеристикой вещественного состава и сложения почвы, а еще указывает на насыщенность почвы влагой (Шеин, 2002; Baveye et al., 1998; Gerke, 2006). Зачастую данная зависимость не является линейной, и большое влияние на ее форму и расположение оказывает гранулометрический состав

Даже совсем небольшое уменьшение содержания влаги, может значительно уменьшить значение коэффициента влагопроводности. Это явление объясняется снижением объемной влагопроводности (Муромцев и др., 2008; Phoon Kok-Kwang et al., 2010). Существует допущение о том, что при движении в ненасыщенной влагой почве влага движется не равномерно, имеет место в начале движения пороговый ингредиент, данный процесс необходим для начала движения. Это происходит при взаимодействии воды с твердой фазой почвы. Описанный выше процесс характерен для каждого из видов почв в отдельности (Phoon Kok-Kwang et al., 2010).

Миграция влаги и перенос растворимых веществ по профилю почвы обуславливает изменение качественного и количественного состава профиля почвы (Shein et al., 2003).

1.2. Антропогенно-преобразованные почвы: свойства и режимы

Среди всего разнообразия почв при создании почвенных конструкций отдельно были изучены результаты исследований антропогенно-преобразованных почв. Эти почвы в контексте данной работы представляют интерес по нескольким причинам. Во-первых, они позволяют понять особенности гидрофизического функционирования слоистых почвенных конструкций, являющихся аналогом антропогенно-преобразванных. Во-вторых, время их формирования и скорости трансформации твердой фазы почвы после их вовлечения в сельскохозяйственное использование близко к конструктоземам после их формирования в первые годы функционирования. В-третьих, достаточно высокая сохранность границ почвенных горизонтов текстурно-дифференцированных и антропогенно-преобразованных почв в течение длительного времени позволяет предполагать высокую устойчивость слоистости почвенных конструкций.

Антропогенно-преобразованные почвы совместно с естественными образуют так называемые природно-антропогенные ряды. Данные ряды и отражают процесс развития от исходных почв к наиболее трансформированным (Сапожников, 1996).

Образование антропогенно-преобразованных почв сопровождается формированием новой системы горизонтов. Данная система горизонтов отличается от системы горизонтов естественной почвы (Тонконогов, Шишов, 1990). Это происходит под действием антропогенных и антропогенно-спровоцированных процессов.

Под влиянием данных процессов, вновь образующиеся антропогенно-преобразованные почвы уже имеют измененные режимы и строение по сравнению с естественной почвой. Данный эффект можно наблюдать на всех стадиях трансформации. Глубина трансформации под действием антропогенных процессов различна. При этом затрагиваются различные части профиля. Определяющими факторами при этом выступают интенсивность, а также длительность воздействия. Важную роль играет и свойства исходной почвы.

Антропогенно-преобразованные почвы также имеют свою классификацию (Классификация и диагностика…, 2004). Среди них выделяют так называемые агрогенные почвы. Своим названием данные почвы обязаны присутствию в них, в большинстве случаев, нового поверхностного горизонта, образованного под действием антропогенного воздействия - это агрогоризонт. Данные почвы характеризуются стадиями трансформации с различной степенью.

Следует отметить, что, как правило, верхний горизонт агрогенных почв (пахотных почв) хорошо гомогенизирован. Это является результатом того, что данный горизонт часто подвергается механической обработке и перемещению почвенных масс. Для данных почв, как правило, характерно постоянное внесение минеральных и органических удобрений.

По данным некоторых исследователей (Лебедева и др., 2016) на основе исследований агрочерноземов каменной степи установлено, что: в первый период сельскохозяйственного освоения (10-20 лет) ухудшаются физические свойства агрогоризонта. Отмечается уменьшение содержания агрономически ценных агрегатов, ухудшение структурного состояния агрогоризонта, увеличение глыбистости, снижение порозности. Потери гумуса в результате антропогенного воздействия составляют до 30%. Это высокий показатель, который необходимо учитывать и при создании конструктозёмов. Также отмечается, что при дальнейшем освоении агрочернозёмов показатели почвенного состояния стабилизируются на некотором постоянном оптимальном плато, хотя и более низком, чем стартовые значения.

Процесс изменения свойств антропогенно-преобразованных почв, как правило, стремительный (Тонконогов, Шишов, 1990; Хитров, 1998). Под действием антропогенного влияния агрогоризонт получает иную почвенную организацию, а также изменяются физические, химические и физико-химические свойства. Происходит изменение водно-воздушного режима, нарушаются тепловые процессы. Претерпевают изменения и биологические показатели.

При более подробном взгляде на процесс трансформации под действием антропогенных процессов следует выделить, что, как правило, изменяются

свойства гумуса (состав), также может наблюдаться снижение его содержания (Ковда, Розанов, 1988; Мамонтов и др., 2011; Степанова и др., 2015; Лебедева и др., 2016; Sixt et al., 2000).

Элементы питания при этом также претерпевают изменения. Наиболее вероятный процесс – это снижение их содержания (например, азота, фосфора), возможно уменьшения содержания подвижных форм питательных элементов. Отмечаются процессы накапливания подвижных форм цинка, свинца, меди и других токсичных элементов в превышающих концентрациях (Ковда, Розанов, 1988; Лебедева, Герасимова, 2011; Стома, 2012; Еремин, Попова, 2015).

Не менее интересными представляются исследования, основным итогом которых явилось заключение, что антропогенно-преобразованные почвы города Москвы обладают фульватно-гуматным и гуматным типом гумуса (Прокофьева и др., 2011), имеют высокое содержание фракции гуминовых кислот, связанных с кальцием. Отмечается, что данная ситуация не соответствует природным условиям гумусообразования.

Результатом этого становится существующая неустойчивость органического профиля городских почв под воздействием антропогенных факторов. Таким образом, выявлено и продемонстрировано, что в пределах города Москвы, в районах затронутых деятельностью человека, распространены почвы, органопрофиль которых не соответствует природным условиям гумусообразования. В большей степени это относится к почвам созданных газонов и скверов, гумусовый состав которых соответствует более южным почвам в виде серых лесных и даже чернозёмов (Мамонтов и др., 2011).

При рассмотрении физических свойств также выявляются изменения почв. Это касается и плотности (как правило, она увеличивается), как следствие уменьшается порозность, нарушается структурное состояние почвы, в свою очередь это оказывает влияние на водный режим, ухудшается водопроницаемость (Шеин, Гончаров, 2006; Смагин, 2012; Тагивердиев и др., 2015; Зинченко и др., 2016). Возможно увеличение поверхностного стока. Происходит снижение влагоемкости и запасов доступной влаги.

Как следствие происходит потеря верхнего наиболее плодородного (оструктуренного и гумусированного) горизонта. Это влечет за собой снижение биологической активности почв: уменьшается численность микроорганизмов и мезофауны, снижается микробиологическая и ферментативная активность почв (Аржанова, 1977; Громакова и др., 2015; Watts, Dexter, 1997).

При саморегуляции антропогенных ландшафтов большую роль играет биота. Она является стабилизирующим фактором. Именно благодаря биоте, ее приспособляемости к абиотическим факторам, способности быстро восстанавливаться и создавать внутреннюю среду, многие ландшафты устойчивы к внешним воздействиям (Полякова, Платонычева, 2012; Лысенкова, Рудский, 2014).

По результатам исследований профильной организации органического вещества антропогенно-преобразованных лесостепных почв (Чуков и др., 2005) установлена существенная трансформация свойств и состава органического вещества под воздействием антропогенного фактора. Длительная распашка приводит к дегумификации верхних горизонтов вплоть до 80 см вниз по профилю.

По данным других исследователей (Тагивердиев и др., 2015) отмечено в результате антропогенеза водопрочность фракций постепенно уменьшается. Основная причина – механическое разрушение агрегатов и прекращение поступления свежего органического вещества. Также отмечено снижение биологической активности.

Проблема сохранения природных ландшафтов сегодня очень актуальна. Происходит замещение старых ландшафтов на новые. Наиболее измененными при этом являются городские поселения, места разработки полезных ископаемых, в меньшей степени сельские поселения. Для охраны естественных ландшафтов создаются заповедники, заказники, принимаются меры защиты от загрязнения воздуха и вод. К антропогенным ландшафтам относятся также и улучшенные человеком ландшафты в виде парков, санитарной расчистки лесов, лесопосадок и другие. (Молодкин, 1995; Hamberg, 2009; Ohsowski et al., 2012).

1.3. Городские почвы, особенности строения, свойств и режимов

Городские почвы относятся к категории сильноизмененных почв по сравнению с естественными почвами. Они весьма сильно отличаются от почв ненаселенных территорий. Как и антропогенно-преобразованные почвы, они имеют свои особенности и закономерности.

Выше для данных почв были упомянуты такие изменения, как нарушение расположения горизонтов. В первую очередь это является результатом воздействия антропогенного фактора в виде производимых строительных работ, возможные неточности и ошибки при планировании территорий (Ковалева и др., 2012; Зимовец и др., 2015; Londo et al., 1999). Подобные действия могут приводить к нарушению процессов почвообразования, водно-воздушного режима, продуктивности используемых почв и, в целом, к ухудшению их экологического состояния (Мещеряков и др., 2005; Шергина, 2006; Козлова и др., 2006; Goncalves et al., 2006; Zimnoch et al., 2010).

В случае с городскими территориями следует учитывать, что почвы ряда участков подвергаются воздействию городской теплосети. Температура поверхности такой почвы, как правило, на пару градусов выше. Это способствует также более раннему таянию снега и увеличению продолжительности вегетационного периода.

Количество осадков в городе отличается от характерных показателей для почв данного региона. Основной причиной является работа ливневой канализации, происходит сброс воды и снега в коллекторы (Строганова, Агаркова, 1992). Также часто примыкающие к асфальтовым дорожкам урбанозёмы становятся подтопленными ввиду сниженной фильтрационной способности и стекания осадков с асфальтового покрытия на почву (Болгов, Голубаш, 2009). Результатом этого становятся процессы характерные для иссушения в летний период, а также процессы характерные для обратного процесса – анаэробного подтопления в осеннее-весенний период.

При анализе почвенного покрова мегаполисов, таких как Москва, оказалось,

что выделяются различные серьезные причины антропогенного воздействия на функционирование почв. Например, переуплотнение, засоление (реагентами и минеральными удобрениями), неблагоприятный водно-воздушный режим, отравление почвенных организмов и растительности (Курбатова, 2004; Курбатова и др., 2004; Прокофьева, Строгонова, 2004; Истомин и др., 2010; Walker, 2003; Hutyra et al., 2014; Decina et al., 2016).

Переуплотнение почвы, возникающее при непосредственном воздействии человека, в городских условиях особенно актуально. Переуплотнение ведет к снижению водопроницаемости в 2 – 10 раз, что в свою очередь влияет и на водно-воздушный режим (Шеин, 2005). Результатом воздействия данного негативного фактора становится снижение продуктивности городских почв (Прокофьева, Строганова, 2004; Смагин, 2012; Исаков, 2015; Tratalos et al., 2007).

Не меньшую проблему представляет и антропогенное засоление, возникающее вследствие применения противогололедных реагентов в зимний период. При таянии снега, почвы и урбаноземы газонов и посадок, примыкающих к асфальтовым дорогам, подвергаются засолению. Это приводит к замедлению поступления в растения питательных элементов. В итоге происходит снижение продуктивности урбанозёмов, и часто гибель зеленых насаждений в результате токсического воздействия соли (Карпачевский и др., 2009; Poulenard et al., 2001).

Проведенные исследования (Прокофьева, Каздым, 2006) отмечают еще одну особенность урбаноземов. По сравнению с естественными аналогами количество лабильных компонентов в них снижено. Соответственно уменьшена и реакционная способность урбаноземов. С другой стороны, т.к., как правило, состав и количество тонкодисперсных минералов является унаследованным от исходной породы, в составе же илистой фракции урбанозема присутствуют антропогенно привнесенные материалы. Следствием этого являются возможные изменения глобальных процессов почвообразования (Zhang et al., 2005).

Долгое время вопрос о систематике городских почв оставался открытым и интенсивно обсуждаемым в связи с обширными данными по этому вопросу. На основе и по принципу структуры «Классификации и диагностики почв России»

Строгановой М.Н. с соавторами (1992) была разработана систематика почв и почвоподобных тел городов южнотаежной зоны Европейской части России. В основе лежит наличие единого по строению профиля, почвообразовательные процессы и свойства. По данной классификации территории городов подразделяют на два основных типа: закрытые (запечатанные) и открытые (незапечатанные, частично озелененные). Наибольший процент занимают закрытые территории, к ним относят площади, которые застроены или заасфальтированы: дома, площадки, тротуары, дороги. К открытым территориям относят озелененные участки, они могут составлять огромные массивы (парки, лесопарки), а также же небольшие полосы вдоль дорог и тротуаров. Они несут не только эстетическую нагрузку, но и большую экологическую, очищая воздух от выхлопных газов, обеспечивая человека кислородом, снижая пылевую нагрузку.

На основании этого открытые грунты называют «городскими почвами». Сами по себе городские почвы - это довольно не простой объект (Курбатова и др., 2004). Их расположение на границе естественных и городских систем, обуславливает сложности описания и прогнозирования. При изучении данных почв, наряду с основными факторами почвообразования, изложенными В.В. Докучаевым в своих работах, добавляется еще один – антропогенный, влияние которого плохо ранжируется в городских условиях.

Почвы открытых территорий разделяют на группы (Строганова и др., 1997):

1) естественные ненарушенные почвы (нормальное залегание горизонтов естественных почв; почвы городских лесов, лесопарков);

2) антропогенно-поверхностно-преобразованные естественные (урбо-почвы; имеют в своем профиле горизонт «урбик» мощностью менее 50 см и ненарушенную срединную и нижнюю части профиля);

3) антропогенные глубокопреобразованные (группа собственно городских почв - урбаноземов, в которых урбиковый горизонт имеет мощность более 50 см; формируются на культурном слое или на насыпных, намывных и перемешанных грунтах; подразделяют на подгруппы:

а) механически преобразованные почвы.

б) химически-преобразованные почвы.

в) почвоподобные тела – «техноземы» (почво-грунты, плодородные грунты):

- Реплантоземы;
- Конструктоземы - искусственно целенаправленно создаваемые почво-грунты путем конструирования (создания) профиля по образу природной почвы. Состоят из серии слоев грунта разного гранулометрического состава и происхождения и плодородного насыпного гумусированного слоя (Строганова и др., 1997).

В данной работе наши исследования посвящены изучению открытых почв, конструктоземов по классификации Строгановой, включая режимы их функционирования, происходящие процессы и результаты трансформации.

1.4. Трансформация антропогенно-преобразованных почв и конструктоземов в процессе функционирования

В современном почвоведении выделяется представление о техногенезе, как совокупности различных почвообразовательных процессов сочетающихся с инженерной и агротехнической деятельностью человека (Замотаев, Шевелев, 2009).

В настоящее время при городском озеленении часто проводят удаление верхнего почвенного слоя и его замена на более плодородный, обогащенный органическим углеродом, который дает недолгосрочный (временный) положительный эффект, и не приводит к кардинальному улучшению почвенного покрова (Карпачевский и др., 2009).

Одним из основных методов улучшения почвенного покрова является создание специальных конструкций (глава 1.2), которые направлены на создание оптимальных почвенных условий для успешного роста и развития растений.

Согласно работам Дмитриева (1996) почвенные конструкции можно отнести к почвоподобным телам, которые принято объединять в несколько функциональных групп:

1) организационно почвоподобные тела – морфологическая организация схожа с настоящей почвой, существуют естественным образом возникшие горизонты (биотичные и абиотичные экзоны);

2) функционально почвоподобные тела – в таких телах практически отсутствует почвенная организация, но они плодородны, обеспечивают рост растениям;

3) хорологически почвоподобные тела – не являясь почвами, находятся на месте почв, всегда находят отражения на почвенных картах (каменные россыпи, соляные коры и т.п).

По классификации Дмитриева (1996), исследуемые нами почвенные конструкции, относится ко второй группе – функционально почвоподобных тел.

Почвенное конструирование является новым направлением в почвоведении. Используя расчеты и модели (математические, физические), оно позволяет создавать оптимальные по своим плодородным свойствам почвоподобные тела.

Все почвенные конструкции, создаваемые человеком можно разделить на несколько групп (Смагин, 2012):

1) земледельческие искусственно создаваемые почвы;

2) локальные и сплошные почвенные конструкции для озеленения, благоустройства и рекультивации земель. Сплошные конструкции создаются на предварительно разрыхленном основании с уклоном в сторону потенциальной дрены. Локальные конструкции проектируются под размещение древесной и кустарниковой растительности, и их размер зависит от конкретного вида растения.

3) почвенные конструкции плоскостных спортивно-игровых сооружений;

4) технические геостабилизационные конструкции;

5) технические почвенно-мелиоративные конструкции.

Наиболее распространены конструкции со слоистым строением. Основной принцип данных конструкций это разрыв капиллярных связей при внедрении между слоями экрана из грубодисперсного материала (грубозернистый песок,

гравий, щебень, дробленый кирпич, асфальт и др.).

Исходя из законов гидрофизики, при таком расположении слоев может происходить аккумуляция дополнительного количества почвенной влаги над грубодисперсным экраном, что немаловажно в городских условиях (Курбатова и др., 2004; Садовникова, Смагин, 2012).

1.4.1. Развитие представлений о перемещении влаги в почвенных конструкциях

Лабораторные фильтрационные опыты на колонках почвы впервые были проведены в России А.Н. Остряковым. Он промывал почву растворами различной концентрации и анализировал порции фильтрата, поступающие с нижней границы колонки. Остряков отметил, что в исследованных почвах (песчаная аллювиальная, серая лесная, чернозем) перемешивание сильнее с возрастанием пути фильтрации и выше скорости движущегося раствора (Дмитриев, 1971). На основании этих опытов, а также последующими экспериментами Г.М. Меерсона, И.Н. Антипова-Каратаева и др., было установлено, что распределение движущегося иона в поровом пространстве связано с его сложной траекторией движения, которая в свою очередь вызвана извилистостью и пересеченностью порового пространства почвы (Айдаров, 1985).

Поровое пространство почв имеет сложную форму с влагопроводящими путями, эти пути далеки от цилиндрических капилляров и имеют крупную сеть. Ионы, которые передвигаются в крупных капиллярах, достигают нижней границы почвы раньше, чем движущиеся в более тонких и извилистых порах (Bouma, 2006). Также скорость движения раствора максимальна в центре поры и минимальна у стенок, это связано с пристеночными эффектами (различия поверхности почв и наличие двойного электрического слоя). Как следствие в поровом пространстве происходит перемешивание почвенного раствора. Также большое влияние на движение влаги в почве оказывает водопроницаемость в различных типах почв, их слоях, а также наличие в почве кротовин и пустот (Дмитриев, 1971; Rawls et al., 2004).

При движении растворенных веществ в извилистом поровом пространстве наблюдается (Шеин, 2005):

- отсутствие четкой границы между подающимся с поверхности раствором и почвенной влагой, происходит «размыв» фронта движущегося раствора;
- при движении раствора происходит перемешивание поданного раствора и почвенной влаги, образуется широкая зона дисперсии (зона смешивания, переходная зона, шаг смешения);
- увеличение концентрации раствора больше в направлении движения потока;
- от размера пор и скорости потока зависит явление перемешивания фронт.

Широко распространено мнение, что впитывание воды в почву осуществляется, прежде всего, по крупным порам и трещинам, по наиболее рыхлым и крупнопористым участкам (de Rooij, 2000). Но полевые наблюдения в дерново-подзолистых почвах показали, что нередко наиболее рыхлые участки профиля почвы практически не увлажняется впитывающейся водой, в то время как, более плотный материал вокруг рыхлых участков оказывается промоченным. Это можно рассмотреть на примере свежезаполненных кротовин (Роде, 1969).

В модельных опытах с фракциями песка различной крупности было показано, что при безнапорном впитывании (при дождевании) более рыхлые или более крупнопористые участки промачиваются мало, поскольку поступающая на эти участки вода может отсасываться более тонкопористым материалом (Дмитриев и др., 1985).

В целом из полученных результатов получается, что при прочих равных условиях (одинаковый напор и время промачивания) глубина промачивания в крупнозернистом песке примерно в 3 раза больше, чем в мелком песке (Ritsema C.J., etal, 1993).

Иначе обстоит дело в опытах со вставками. Во всех вариантах наполнения трубок песком и при разных напорах глубина промачивания вставки (крупнозернистая фракция песка) и фона (вмещающей фракции, более тонкозернистая фракция песка) оказались близкими, причем в большинстве

случаев крупнозернистая вставка увлажнилась даже на меньшую глубину, нежели тонкозернистый фон. Фоновая фракция является более тонкозернистой и развивает большие капиллярные силы, нежели крупнозернистая фракция вставки, поэтому вода из вставки должна отсасываться в прилежащий к вставке фоновый материал. Соответственно глубина промачивания вставки по сравнению с контролем должна уменьшаться, а глубина промачивания фона должна быть больше. Например, это опыты, которые проводил Дмитриев (1985).

Когда вставка имеет небольшие поровое пространство, то количество воды, которое может быть дополнительно связано фоновой фракцией невелико. Если мы будем ограничивать объем фонового материала, который способен отсасывать влагу из вставки данного размера, то это приводит к возрастанию глубины промачивания и фона, и вставки за фиксированный интервал времени (Jarvis et al, 1991).

Глубина промачивания вставки определяется также и диаметром самой вставки, так как с увеличением этого диаметра доля воды, впитывающейся через поверхность вставки, должна сокращаться.

Очевидно, что эффект промачивания будет зависеть от формы и размеров вставки и фона, от соотношения их проводимостей, от исходной влажности материалов, развиваемых ими капиллярных сил и величины гидростатического давления.

В своих исследованиях Белобров В.П. и Замотаев И.В. (2007) важную роль в искусственно создаваемых почвенных конструкциях для газонного покрытия отводят влагоемкости, которая зависит от порозности, структуры, агрегированности, скорости фильтрации и т.д. Отмечается, что поверхностный слой почвенной конструкции при обогащении фракцией тонкого песка и органического вещества значительно улучшает водоудерживающую способность слоя, что в свою очередь благоприятно сказывается на свойствах зеленого покрытия.

Развитие знаний в области почвенных конструкциях, их идентификации и классификации, трансформации их свойств, исследование особенностей

влагопроводящих и водоудерживающих свойств, носили стремительно развивающийся характер. Данные конструкции оказались очень востребованы и актуальны в условиях образования современных мегаполисов.

Движущей силой трансформации конструктоземов является влага, которая на начальном этапе функционирования искусственно-созданных почв обусловливает изменение пространственной организации порового пространства, а значит изменению водоудерживающей и влагопроводящей способности почв. Это, в свою очередь, должно отразиться на свойствах твердой фазы почв.

1.4.2. Трансформация искусственно созданных почв в процессе их функционирования

Зачастую восстановление городских ландшафтов носит «разовый» характер, заключающийся в проведении различных мелиоративных мероприятий и внесение удобрений. В дальнейшем работы по их экологическому мониторингу практически не проводятся и эффект таких вмешательств не долговременный (Абакумов, Гагарина, 2003).

В результате функционирования конструкций происходят существенные изменения физических и химических свойств, а также процессов, протекающих в рекультивационном корнеобитаемом слое, и возникает ряд проблем, связанных с дальнейшей эволюцией таких конструкций (Садовникова, Смагин, 2012).

Изменяется не только ряд физических, но и ряд химических свойств. Большой вопрос в функционировании почвенных конструкций занимает миграция гумусовых кислот, и до настоящего времени он остается дискуссионным (Feng et al., 2006).

Различных точек зрения придерживались еще основоположники генетического почвоведения. Так, Костычев (1949) считал, что образование гумуса возможно лишь из органических останков в самой толще, например из корней растений и роль перемещенного органического вещества вниз по профилю по сравнению с этим ничтожна. Докучаев (1994), напротив, не исключал возможность миграции гуминовых веществ в почвенном профиле и поступление

органического вещества извне, отмечая, что роль перемещенного органического вещества так же важна, как наличие в толще собственного органического вещества, из которого образуется гумус.

С годами представления о миграционной способности органических веществ в почве претерпевали различные изменения. Исследования последних лет экспериментально подтвердили присутствие в составе гуминовых веществ фракций, различающихся по степени амфифильности и растворимости. Что подтверждает возможность передвижения в профиле наиболее способной к миграции части гуминовых соединений. Но для этого должен выполняться ряд условий: 1) существование основных путей миграции влаги; 2) блокирование, хотя бы временное, сорбционных центров ППК или же уменьшение их активности (например, в период обильных осадков) 3) необходимы определенные химические показатели: состав, концентрация, значения pH почвенного раствора (Степанов, 2008).

Отдельно важно отметить, что при создании искусственной почвенной конструкции насыпного или любого иного характера, происходит нарушение пространственной организации порового пространства почв и путей гравитационных потоков влаги. Конструкции требуется время для их образования вновь (Умарова и др., 2006). На примере лизиметрических установок, длительное исследование которых в течение более чем 40 лет показало, что вертикальный сток зависит в первую очередь от особенностей строения почвенного профиля, а также структурного состояния слагающих элементов. Особенно важным замечанием, которое необходимо учитывать при выполнении исследований искусственно созданных почв, является то, что при разрушении влагопроводящей структуры, требуется некоторое время для её восстановления. Результатом трансформации почвенных конструкций под действием формирования потоков влаги в нарушенных или насыпных почвах является более интенсивное перемещение тонких илистых фракций (Умарова, Иванова, 2008).

Следствием подобного перемещения может явиться увеличение размеров агрегатов почвы и, соответственно, развитие почвенной неоднородности. Однако,

как отмечалось выше, данный процесс требует некого временного промежутка, (Lanthaler, 2004).

Так же важно отметить, что при создании насыпных почвенных конструкций, происходит воспроизведение набора почвенных функций, необходимых для произрастания растений (Gerke, 2006). Непрерывный мониторинг за изменением химических и физических свойств почвенных конструкций дает возможность понять, описать и послужить основой для решения задач их устойчивого функционирования (Андроханов, Овсянникова, 2000; Смагин, Садовникова, 2015; Pontedeiro et al., 2010).

1.4.3. Современные взгляды на роль почвенных конструкций и проблемы успешности их функционирования

Ландшафт города характеризуется различными составляющими, и без сомнений можно сказать, что почвенный покров является основной частью городского облика (Васенев, 2011).

Урбанизация сегодня является одной из самых основных тенденций современного землепользования. Наряду с происходящей урбанизацией изменяется и экологическая система, образуется так называемая урбоэкосистема, основным элементом которой являются, как уже упоминалось, городские почвы (Курбатова и др., 2004).

В некоторых отдельных случаях происходит выявление негативных процессов протекающих в городских ландшафтах. В связи с этим, проводится ряд мероприятий, направленных на устранение проблемы и оптимизацию почвенных свойств в целом. Основной задачей является приведение показателей качества городских почв к оптимальным показателям. Таким образом, подобные изменения ведут к искусственной регуляции почвенных свойств, что подразумевает под собой создание городских конструктоземов различного строения (Grabosky et al., 2002; Loh et al., 2003; Семенюк, Владыченский, 2007).

На почвенные конструкции возложен целый ряд функций. Важнейшей функцией является: продуктивность. Почвенные конструкции являются основой

для произрастания различных видов растений, и они должны в полной мере сорбировать загрязняющие вещества, защищать городской воздух от попадания в него илисто-пылеватых частиц. Кроме того, городские почвенные конструкции являются средообразующим компонентом и наконец, несут на себе эстетическую функцию в условиях современных мегаполисов. Наибольшую практическую значимость имеет конструирование почвенного покрова в новых районах, где происходит обустройство городского пространства (Белобров, Голубев, 2007; Абросимов, Белобров, 2009; Васенев и др., 2014; Гальченко и др., 2016).

При современной закладке новых жилых микрорайонов полностью уничтожается почвенно-растительный покров, нарушается почвенно-грунтовая толща до глубины нескольких метров. После строительства котлованы вместе со строительным мусором (разнообразного состава и размера) засыпаются и выравниваются привозными или местными грунтами, часто загрязненными отходами строительства. Как следствие происходит крайне медленное развитие городского ландшафта. В современных условиях нередко приходится иметь дело с деградированным почвенным покровом.

Последнее время уделяется больше внимания благоустройству и озеленению городских территорий. Наиболее заметно это на примере газонов, как наиболее развитом направлении. Однако на практике улучшение свойств почвы достигается лишь добавлением нескольких сантиметров растительного грунта (торфа) со смесью газонных трав. Подобные конструкции ограничены в своем развитии, они не могут саморазвиваться в процессе функционирования, в них преобладают процессы деградации. Подобные конструкции хорошо функционируют лишь небольшой промежуток времени, около 2-3 лет (Смагин и др., 1999; Просянников, Рыженков, 2009).

Не менее интересными с точки зрения изучения почвенных конструкций представляются футбольные поля. По исследованиям Замотаева (2008) показано, что почвенные конструкции футбольных полей развиваются под действием не только природных факторов, а также антропогенного воздействия, применяемого при уходе за футбольным покрытием – поливом, подогревом, землеванием,

пескованием и т.д. Установлено, что факторы почвообразования являются базой для трансформации и эволюции почвогрунтов футбольных полей. Совокупность природных, климатических в совокупности с антропогенными факторами и подстилающей породой являются катализаторами развития элементарных почвообразовательных процессов (Замотаев, 2008; Замотаев и др., 2012; Замотаев, Белобров, 2014).

На фоне этого, интересным представляются результаты исследований (Замотаев, Шевелев, 2012) по которым показано, что почвы футбольных полей, которые испытывают антропогенное воздействие только в пределах верхнего горизонта – развиваются и трансформируются по модели почвообразования естественных почв и мало отличаются от них по происходящим процессам, строению и свойствам.

На основании изучения большого количества футбольных полей установлено, что, к сожалению, процесс деградации спортивных почвенных конструкций хоть и постепенный, но неизбежный (Белобров, Замотаев, 2007). Авторами показано, что проблемы трансформации и эволюции почвенного покрова отражаются на функциональном состоянии газона.

Перспективно воссоздавать почвенный профиль, как модель почвенной природы с присущими ему почвенно-биогеохимическими процессами. Прежде всего, необходимо обратить внимание на процессы аккумуляции в корнеобитаемом слое элементов питания и влаги и на защиту рабочего слоя от загрязнения и засоления (Смагин и др., 1999, Курбатова и др., 2004).

При создании почвогрунтов (конструктоземов) необходимо придерживаться оптимального алгоритма действий.

Во-первых, необходим анализ природных условий. Сюда включены климатические параметры данной местности со следующими показателями: среднегодовая норма осадков, сумма активных температур, режим увлажнения и т.д. Также необходимо учитывать условия рельефа, включающий в себя: характер мезо- и микрорельефа, дренированность территории, уровень грунтовых вод и т.д. Неотъемлемой частью исследований является изучение свойств исходных почв и

почвообразующих пород, слагающих данную местность, берутся в расчет все физико-химические и агрохимические свойства, а также важно принять во внимание элементарные почвенные процессы (ЭПП) (Adams, Jones, 1979; Baker, 1990).

Во-вторых, является целесообразным разработать основную систему почвогрунтов. Основой является построение почвенного профиля, то есть выбор горизонтов и компонентов, которые будут слагать будущий почвогрунт.

В-третьих, необходимо иметь план эксплуатации почвенной конструкции, который будет включать в себя основные рекомендации по использованию конструкции. Например, важны рекомендации по времени, нормам, срокам и методам внесения удобрений (van Deventer, 2000).

Исследователями (Семенюк и др., 2011) также отмечено, что в результате использования компонентов различного состава для конструктозема, он, с одной стороны, перенимает минералогическую ассоциацию пород, послуживших источником для его формирования. А с другой стороны, он приобретает новые свойства, не характерные для почв естественного генезиса. Такими новыми свойствами являются: высокая неоднородность профильного распределения гранулометрических фракций, изменение соотношения долевого участия минералов и их профильного распределения и другие.

1.4.4. Почвенные конструкции в г. Москве: задачи их создания и функционирования

В настоящее время по данным исследователей (Герасимова и др., 2003) на земном шаре в неизменном виде осталось порядка 5% почвенного покрова. В результате роста городов, немалую часть трансформированных почв составляют почвы поселений. На почвенной карте мира даже используется диагностический элемент Ubric, использующийся для создания названий антропогенно-трансформированных почв поселений (Прокофьева и др., 2011; FAO/UNESCO, 1990).

Российские исследователи (Прокофьева и др., 2011) провели классификацию почв городских поселений. Среди прочих типов почв были представлены и почвенные конструкции или конструктозёмы. В описании данного типа почв указывается, что, как правило, почвенные конструкции имеют сложное строение верхней 40-50 см почвенной толщи, которые создаются специально для каких-либо целей, например озеленения. Они состоят из различных почвенных слоев, в основу которых применяются различные почвенные материалы, хотя, наличие плодородного слоя является необходимым (Прокофьева и др., 2011).

Учитывая современные потребности улучшении условий в городе, можно сказать, что создание конструктоземов с оптимальными показателями и несущими на себе функциональную нагрузку окружающей территории, является одной из основных задач современного почвоведения. Данные конструкции должны обладать в первую очередь способностью к долгому и устойчивому функционированию в условиях современных мегаполисов, однако отмечающийся длительный процесс деградации также неизбежен (Krupka, 1992; Lehr, 1997; Прокофьева, Строганова, 2004; Белобров, Замотаев, 2007).

Данная задача является весьма сложной и требует учета фундаментальных основ агрофизики. Важно отметить, что в естественных условиях региона Москва представлены устойчиво-функционирующие текстурно-дифференцированные почвы, являющиеся аналогами слоистых почвенных конструкций. Почвы данного ряда являются неким естественным примером и прототипом слоистых почвенных конструкций.

В настоящее время в г. Москве активно используются конструкции слоистого строения с включением в качестве грубодисперсного материала природных и синтетических биополимеров таких как торф, растительные отходы, песок, перлит и др. Подобные конструкции позволяют озеленить город на более длительный период времени.

По данным некоторых исследователей (Шеин, Торбик, 2014) с применением математического аппарата было установлено, что увеличение количества слоев в

почвенной конструкции приводит к снижению коэффициента фильтрации, что объясняется увеличением извилистости порового пространства при переходе от слоя к слою.

На данный момент основной важнейшей задачей использования искусственно создаваемых почвенных конструкций для городского озеленения является эстетический эффект. Особо актуально этот вопрос стоит в любой столице мира, Москва при этом не является исключением. По данным исследователей (Горбов и др., 2013) на примере создания антропогенно-преобразованного покрова гольф-поля было произведено заключение, что возможность использования современных мелиоративных и оросительных технологий позволяет получать эстетически красивое стабильное газонное покрытие. При этом, в данной работе сделан упор на использование почвенных конструкций вкупе с травянистой растительностью, как наиболее востребованным вариантом применения в условиях создания городских эко-ландшафтов. Газоны - это искусственно создаваемый фитоценоз, функционирующий годами и являющийся неотъемлемым элементом городской ландшафтной архитектуры. Травостой обыкновенного садово-паркового газона поглощает из атмосферы часть пыли и газов, приглушает шум мегаполиса, образованная дернина задерживает поступление пылеватой фракции из почв в городскую среду и улучшает экологические показатели мегаполиса.

Как отмечалось в вышеприведённых главах, Москва при этом является мегаполисом с непростой климатической ситуацией, что в первую очередь касается и высокий разброс выпадения осадков, и разность сезонных температур, и непродолжительность вегетационного периода и другие природные особенности.

Основным Законом г. Москвы от 04.07.2007 № 31 «О городских почвах» определена и ведущая функция городских почв: обеспечивать произрастание травянистой и древесно-кустарниковой растительности. На основании этого требования была выстроена агрофизическая составляющая данной работы.

Особенностью функционирования искусственно создаваемых почвенных конструкций для травянистой растительности является быстрая деградация в результате быстрого изменения агрофизических свойств верхнего слоя почвенной конструкции, что также отражено в обсуждении результатов данной работы.

Одним из недостатков действующего на сегодняшний момент управления использования и качества городских почв города Москвы является отсутствие управление качеством, так называемых стационарных почв, которые имеют конкретное местоположение, не подвергнуты перемещению из-за проведения строительных работ (Яковлев и др., 2010). Отсутствие управления качеством данных почв усугубляет экологическую обстановку мегаполиса. Необходимы исследования происходящей трансформации данных почв по функции времени. Проведенные ниже исследования почвенных конструкций отчасти раскрывают проблематику данного вопроса, но в тоже время требуют продолжения исследований данного направления.

Таким образом, имеется целый ряд вопросов фундаментального и прикладного характера, касающегося особенностей функционирования почвенных конструктоземов, в частности слоистых почвенных конструкций, которые, несмотря на имеющиеся аналоги в виде текстурно-дифференцированных естественных и антропогенно-имененных почв, имеют большое количество вариантов по представленным субстратам, их мощности и пространственной организации. Вопросы их трансформации, особенной в первые 1-2 года функционирования, являются чрезвычайно важными, т.к. они определяют дальнейшую устойчивость конструктоземов как пространственно дифференцированной и функционально-организованной почвенно системы. Именно эти вопросы и легли в основу настоящих экспериментальных исследований.

Глава 2. Объекты и методы исследования

2.1. Характеристика объектов исследования

Проведение исследований включало изучение различных почв, грунтов и субстратов в лабораторных и полевых экспериментах и состояло из серий работ.

2.1.1.Лабораторный эксперимент по исследованию гидрологических характеристик почвенных конструкций

Для изучения водоудерживания и влагопроводности различных почвенных горизонтов и субстратов, в первую очередь, были созданы искусственные почвенные конструкции в лабораторных условиях для того, чтобы в полностью контролируемых условиях детально исследовать процессы, происходящие в почвенных конструкциях при моделировании условий увлажнения, миграции воды и иссушения почв. В качестве исходных образцов для первой серии экспериментов были выбраны: торф, песок и горизонт В урбанозема почвенного стационара МГУ, отобранный с глубины 100-110 см (рис. 1).

Рисунок 1. Исходные используемые материалы и почвенные колонки.

Модельный эксперимент проводился на пяти почвенных колонках, высотой 18 см и диаметром 11 см. В каждой колонке по всему периметру были созданы технологические отверстия диаметром 1 см на высотах 1,5 см; 4,5 см; 10,5 см и

15см для регулярных отборов проб почвенных образцов. Они были герметично закрыты, открывались лишь на время отбора образцов. Всего было создано пять вариантов почвенных колонок:

- Вариант 1. Колонка заполнена речным песком второго класса крупности, который относится к строительному песку, он наиболее часто используется в городских условиях и при строительстве. Песок для строительных работ должен соответствовать ГОСТ 8736-93. По виду обработки песок относился к просеянному песку, то есть очищенный от камней и крупных фракций. Песок выбран в связи с тем, что именно этот материал обладает хорошей водопроницаемостью и наиболее часто используется при создании газонов разного назначения, в том числе, и в городских условиях.
- Вариант 2. Колонка была заполнены горизонтом В. Именно этот горизонт является частью урабанозема города Москвы, где в последующем и был проведен полевой эксперимент. Отметим, что практически повсеместно на горизонте В основаны все искусственно созданные городские почвенные конструкции, он же зачастую является основным подстилающим слоем при городском озеленении в Москве и Московской области после окончания строительных работ и на начальном этапе озеленительных работ.
- Вариант 3. Колонка была заполнены торфом. Торф традиционно используется в городском озеленении благодаря тому, что он отлично удерживает почвенную влагу, является высоко пористым субстратом, а в случае использования низинного варианта торфа высокой степени разложения, способствует увеличению плодородия. Был выбран низинный пакетированный торф «Селигер-Агро». Он обладает слабой кислой реакцией pH 5,5-6, высокой степенью разложения – более 30%, гумифицированный, раскисленный, биологически-активный, измельченный, без добавления минеральных компонентов.

- Вариант 4 представлял собой слоистую колонку, состоящую из: гор. В–торф – песок - гор. В (описание конструкции производится сверху вниз). Соотношение мощностей каждого слоя 6:3:3:6 см. Такое расположение слоев имеет под собой определенную логику. В качестве верхнего горизонта был выбран горизонт В (6см), в связи с тем, что именно он, зачастую, располагается на дневной поверхности территорий после проведения строительных работ. Кроме того, весьма актуальной прикладной задачей является его окультуривание, что дает возможность его использования при озеленении, а значит существенное снижение затрат. В практике отечественного почвоведения для гумидной зоны имеется работы по вовлечению горизонта В в сельское хозяйство агротехническими приемами. Так, Н.А. Качинский (Качинский, 1970) рассматривал его как «потенциально плодородный» горизонт, т.к. он обогащен тонкими фракциями и полуторными окислами. В середине прошлого века было предложено множество методов агротехнической обработки почв, когда на дневную поверхность располагали нижние минеральные горизонты (Бушинский, 1944; Мосолов, 1951; Маслов, 1979), в дальнейшем, проведение агротехнических мероприятий способствовало получению высоких урожаев зерновых и пропашных культур (Умарова, 2011). Рабочей гипотезой явилось то, что данный горизонт перекроет нижерасположенный торфяный горизонт от воздействия атмосферных явлений и предотвращая его от быстрого разложения и чрезмерного иссушения. Кроме того, в настоящее время торф запрещено использовать в качестве верхнего слоя, вследствие его пожароопасности при иссушении. Обратим внимание, что торфяной слой в предложенном варианте конструкций располагается в прикорневой зоне растений, что позволяет растениям в полной мере получать питательные вещества. Торф хорошо удерживает влагу, обладает хорошей газопроводящей способностью в связи с большим количеством пор. Песчаная прослойка выступает в роли дренирующего компонента конструкции. Нижний слой представлен

горизонтом В, что соответствует природным условиям, при которых создают почвенные конструкции, именно он является подстилающим горизонтом конструктоземов.

- Вариант 5 являлся смесью гор. В – песка – торфа в количественном соотношении 4:1:1, что соответствует массовому соотношению горизонтов слоистой конструкции, но все составляющие были тщательно перемешаны, почвенная система гомогенизирована, именно такой вариант конструктозема является наиболее простым в приготовлении и весьма распространенным в настоящее время.

Колонки заполнялись с определенной задаваемой плотностью, которая соблюдалась по всей длине почвенных колонок. Затем колонки устанавливались на влажную песчаную подложку для капиллярного насыщения (рис. 2) в течение 48 часов. После этого проводили увлажнение до полной влагоемкости, постепенно поднимая уровень воды до поверхности почвенной колонки. Во избежание образования защемленного воздуха в почвенных порах поднятие воды проводилось постепенно в течение 6 часов.

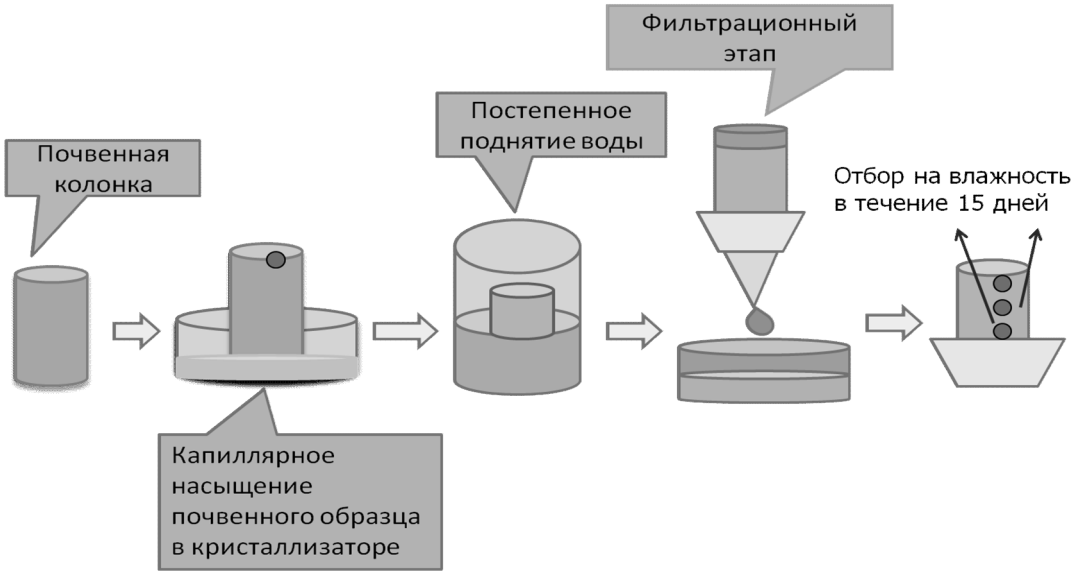


Рисунок 2. Схема фильтрационного эксперимента.

На фильтрационном этапе эксперимента каждую колонок проливали одинаковым объемом воды 150 мл с установлением постоянной скорости фильтрации. Для фиксирования скорости потока на нижней границе почвенных колонок осуществляли порционный сбор фильтрата по 10 мл, с фиксацией

времени их прохождения через колонку. Напор на верхней границе поддерживался строго на постоянном уровне и составлял 1 см. После окончания фильтрации и стекания гравитационной влаги колонки термостатировали в течение еще 15 дней, с регулярным отбором почвенных образцов на разных глубинах для определения послойной динамики влажности в трех повторностях. В итоге были получены коэффициенты фильтрации почвенных колонок, профильное распределение влажности в течение 15 дней, а также рассчитаны запасы влаги почвенных колонок в различные временные интервалы.

2.1.2. Полевой модельный эксперимент по изучению влияния строения почвенных конструкций на биомассу газонных трав

После проведения лабораторного эксперимента почвенные конструкции переносились в полевые условия. Полевой эксперимент был начат весной 2011 года на базе почвенного стационара МГУ (рис. 3).

Рисунок 3. Месторасположение объектов исследования на фотоснимке, сделанного со спутника.

Приблизительно в 100 м с восточной стороны располагается Мичуринский проспект, а с запада – Ботанический сад МГУ. Изученная территория располагается в центральной части города рядом и соответствует климатическим условиям, характерным для изучаемого мегаполиса. Характерным является умеренно-континентальный климат, с четко выраженной сезонностью. Средняя продолжительность климатического лета составляет около 90 дней (или 3 месяца).

Вегетационный период длится с конца апреля по конец сентября. Начало лета характеризуется неустойчивыми погодными условиями, с чередой теплых и холодных дней, сменяющееся солнечной жаркой погодой июля. Для августа характерны теплые (до +28 °С и выше) дни, но ночи постепенно становятся холоднее за счёт увеличения тёмного времени суток и сопутствующего выхолаживания воздуха (Чубарова и др., 2014).

На территории Почвенного стационара были сконструированы 9 экспериментальных площадок, площадь каждой площадки составил 1 м^2, а мощность конструктоземов - 0,36 м. Схема полевого эксперимента представлена на рисунке 4.

Рисунок 4. Схема полевого эксперимента.

Первый вариант конструктоземов – аналог лабораторной смешанной колонки, представленный смесью горизонта В, торфа и песка в соотношении 4:1:1 (рис. 5).

Второй вариант - слоистая конструкция, состоящая из: горизонта В – песка – торфа-горизонта В. Является аналогом лабораторной слоистой почвенной

колонки, вертикальные составляющие мощностей слоев которого увеличены в 2 раза (рис. 5).

Третья - слоистая конструкция, создана аналогично конструкции №2, с добавлением гуматов «Флексом». Основными компонентами гуматов являлся торф и бурый уголь. Гуматы были выбраны в связи с тем, что они являются солями калиевых и натриевых гумусовых кислот: фульвокислоты и гуминовой. Они оказывают положительное влияние на свойства почвы и произрастающие на ней растения (Степанов, 2008). Предполагалось, что произойдет улучшение физических свойств почвы, водо- и воздухопроницаемость. При попадании гуматов в растения увеличивается скорость синтеза белков (Макаров и др., 2016). Почвы конструктоземов варианта 3 были обработаны гуматом в расчете 0,5 мл препарата на 1литр на 1м^2 , а семена были перед посевом помещены в раствор гумата в соотношении в 5,7 мл препарата на 14,3 мл воды на 20 г семян.

При проведении эксперимента по изучению биомассы почвенных конструкций до внесения гуматов и после, все почвенные конструкции впоследствие были обработаны препаратом «Флексом» в указанных выше дозировках. Это позволило сравнить влияние гуматов на производимую площадками биомассу.

На каждой площадке был произведен высев смеси газонных трав, состоящих из овсяницы красной (*Festuca rubra)* и райграса пастбищного (*Lolium perenne*).

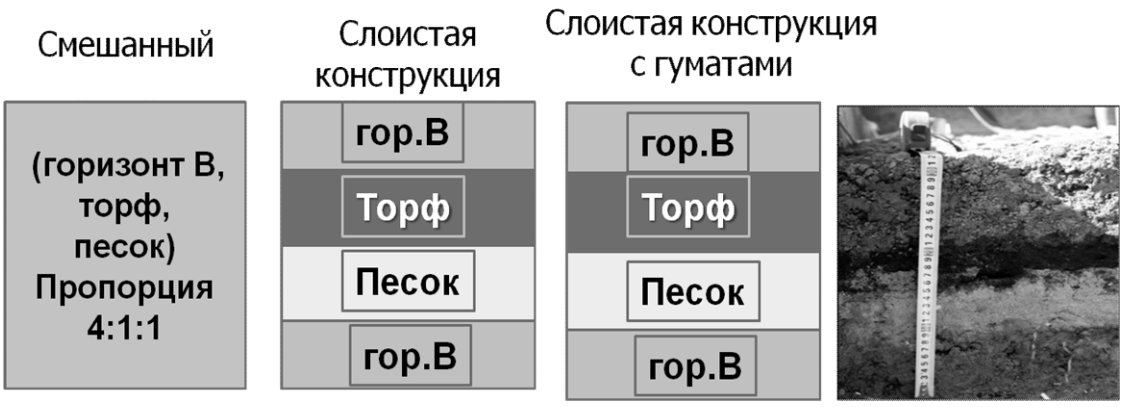


Рисунок 5. Схема строения почвенных конструктоземов 2011 г.

На всех экспериментальных площадках в течение нескольких месяцев поддерживались одинаковые условия: высев трав, полив почвы, стрижка трав. После окончания вегетационного периода была собранна и проанализирована биомасса газонных трав.

2.1.3. Полевой модельный эксперимент по изучению изменения свойств почвенных конструкций на первом этапе их функционирования

В рамках данной диссертационной работы весной 2012 года был заложен второй долгосрочный полевой эксперимент на базе почвенного стационара МГУ для изучения изменения свойств почвенных конструкций в процессе первых двух лет функционирования.

Все конструктоземы закладывались при одинаковых начальных условиях. Был сформирован котлован глубиной 30 см, его дно было тщательно выровнено по уровню. Почва, которая была вынута из котлована и представлявшая собой горизонт Апах урбанозема, была тщательно перемешана и гомогенизирована для максимального снижения пространственной неоднородности почвенных свойств. На дно котлована был размещен этот горизонт Апах мощностью 12 см, созданная плотность составила 1,3 г/см^3. Для соблюдения условия однородности почвы в пределах каждого горизонта был измерен объем слоя, в процессе размещения данного и последующего слоев контролировалась влажность почвы, измеряемая ежедневно в трех повторностях, и с ее учетом рассчитывалась масса размещаемой почвы. Строгая горизонтальность каждого слоя контролировалось уровнем. Последующие почвенные горизонты укладывались послойно, их плотность также была рассчитана, и ее соблюдение при укладке контролировалось взвешиванием размещаемого грунта и периодической корректировкой при определении влажности. После укладки была проведена гидроизоляция каждой почвенной конструкции.

Отметим, что выбранные составляющие явились резко контрастными по своим физическим и химическим свойствам.

Основными компонентами (рис. 6) стали: 1) низинный торф, который уже был использован в предыдущих лабораторных и полевых экспериментах, он обладал всеми необходимыми свойствами для благоприятного произрастания растений; 2) карьерный песок, менее однородный и отсортированный, чем в предыдущем эксперименте; 3) а также был взят верхний пахотный горизонт А урбанозема почвенного стационара МГУ.

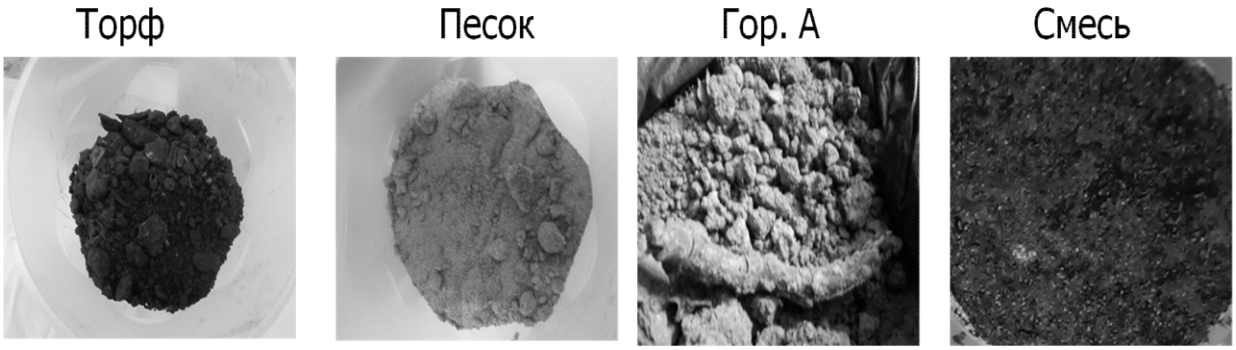


Рисунок 6. Исходные используемые материалы.

Каждым из исходных материалов при определенной влажности и плотности заполняли почвенные конструкции (рис. 7). Торф закладывали при W=130,0%, создаваемая плотность ρ = 1, 00 г/см^3; песок закладывали при W=8,0%, ρ_b = 1, 63 г/см^3; верхний горизонт Апах закладывали при W=15,0%, ρ_b = 1, 2 г/см^3. Также была создана смешанная конструкция, со следующими параметрами: W=27,3%, ρ_b = 1, 38 г/см^3, что складывалось из составляющих ее компонентов.

Рисунок 7. Этапы закладки почвенных конструкций.

Всего было создано 28 опытных площадок, площадь каждой площадки составила 50*50 см и мощностью 30 см. Поверхность почвенных конструкций

совпадала с поверхностью окружающей площадки поверхностью почвы. Схема эксперимента представлена на рисунке 8.

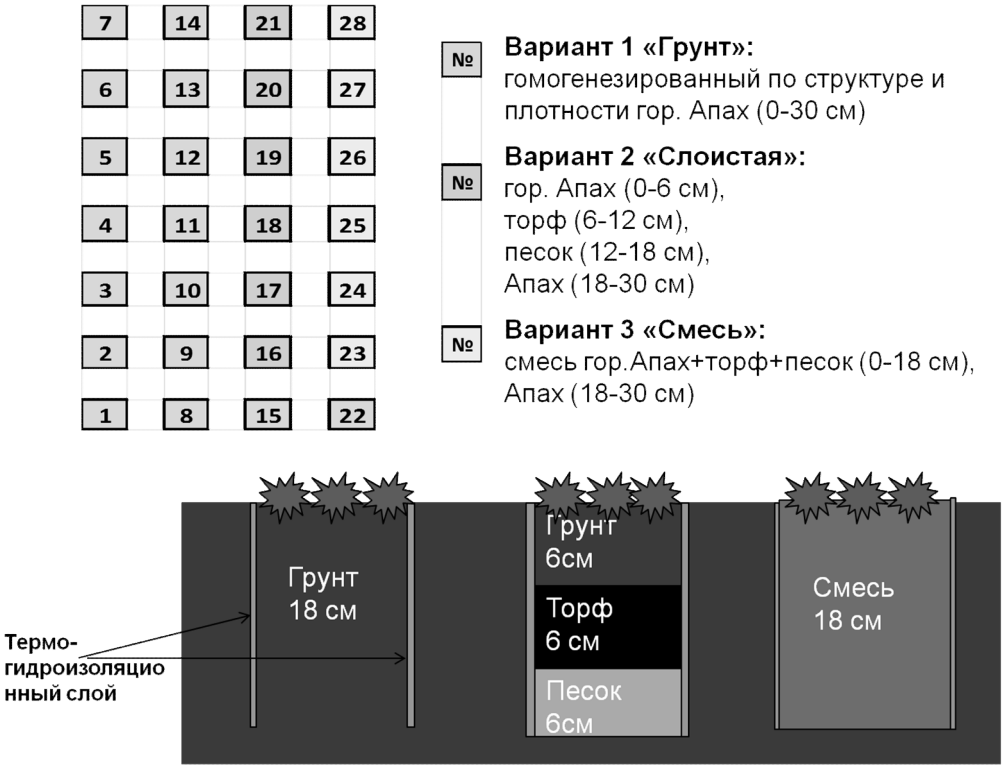


Рисунок 8. Схема полевого эксперимента по изучению твердофазных свойств почвы.

Были созданы следующие варианты конструкций (рис. 9) со строением профилей:

- Вариант 1. Контроль. Представляет собой гомогенизированый по структуре и плотности горизонт Апах (30 см).
- Вариант 2. Слоистая конструкция, состоящая из гор. Апах (0-6 см), торф (6-12 см), песок (12-18 см), Апах (18-30 см).
- Вариант 3. Смешанная конструкция, состоящая из горизонта А, торфа и песка в соотношении 1,5:1:1,92 по сухой массе, данные части тщательно гомогенизированы.

Рисунок 9. Фотография поверхности исследуемых почвенных конструкций. Лето 2012 г.

Отметим, что нижние 12 см представляют собой единый горизонт Апах. Разница заключается в строении только верхних 18 см. Также как и в предыдущем полевом эксперименте, на каждую из площадок высаживались смеси газонных трав (овсяница красная (*Festuca rubra)* и райграс пастбищный (*Lolium perenne*)). На протяжении всего эксперимента (2 года) все площадки подвергались одинаковым поливам, стрижкам и обработкам.

2.2 Методы исследования

Для исследования физических и химических свойств почв были использованы традиционные методы и приборы. Для выполнения поставленных задач были отобраны образцы для лабораторных анализов и модельных экспериментов, а также проводились исследования непосредственно в полевых условиях.

В лаборатории были определены: плотность почвы пикнометрическим методом («Теории и методы физики почв», 2007). Влажность определяли классическим стандартно-весовым методом (Шеин и др., 2001). Определение ОГХ – тензиостатическим и гигроскопическим методами («Теории и методы физики почв», 2007), было изучено реологическое поведение твердой фазы почвенных

конструкций получением реологической кривой на вискозиметре (РЕОТЕСТ-2) («Теории и методы физики почв», 2007). Определение удельной поверхности проводили методом низкотемпературной адсорбции азота.

Был определен гранулометрический состав методом лазерной дифракции на приборе «Analysette-22 Comfort». Методика приготовления образцов была следующей: были отобраны средние пробы воздушно-сухой почвы, тщательно перетирались в ступке с резиновым наконечником и просеяны через сито в 1мм. Подготовка проб проводилась методом ультразвуковой диспергации в воде стандартной интенсивностью в течение 2,5 минут.

Наряду с физическими определениями был произведен ряд химических анализов: получены солевая и водная вытяжки почвы и определены pH (Орлов, 1985). Определение содержания общего углерода проводилось с использованием экспресс-анализатора АН-7529М (Когут и др., 1993).

Фракционирование органических макромолекул проводилась методом хроматографии. В основе метода лежит прямое взаимодействие молекул вещества с гидрофобными фрагментами (алифатической или ароматической природы), фиксированными на поверхности твердой матрицы. Для увеличения интенсивности взаимодействия с матрицей чаще всего увеличивают полярность элюента, при этом происходит экспонирование гидрофобных участков, расположенных внутри молекулы (Заварзина и др., 2008; Караванова и др., 2007). Для уменьшения интенсивности взаимодействия экранируют гидрофобные участки, вводя детергенты. Таким образом, первыми из колонки выходят наиболее гидрофильные фракции, тогда как наиболее гидрофобные фракции максимально долго удерживаются на колонке (Степанов, 2005; Степанов и др., 2006). В качестве рабочей матрицы мы применяли вариант модифицированной «сшитой» агарозы фирмы «Pharmacia» - «Sephadex G-75». Фракционирование хроматографией позволило физически разделить совокупность ГВ на компоненты, различающиеся способностью вступать в гидрофобные взаимодействия (Заварзина и др., 2008).

Были исследованы и визуальные картины изменения твердофазных компонентов почвенных конструкций. Была проведена компьютерная микротомография на микротомографе Yamato TDM-1000.

Рентгеновская компьютерная микротомография (μКТ) дает возможность визуализировать трехмерную внутреннюю структуру объекта, не разрушая его. Принцип работы компьютерного томографа основывается на просвечивании исследуемого объекта тонким пучком рентгеновских лучей (рис. 10).

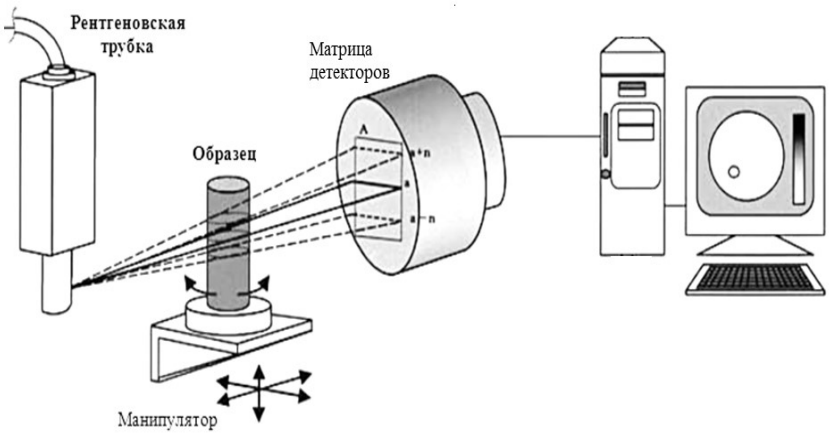


Рисунок 10. Принцип работы и основные узлы компьютерного рентгеновского томографа TDM 1000H-II (Соколов и др., 1997).

Луч проходит через объект, рентгеновские лучи поглощаются структурными элементами объекта в разной степени. Затем лучи регистрируются системой детекторов, в результате чего получается теневая проекция. Образец не стоит на месте, а вращается вокруг оси, тем самым собирается целая серия теневых проекций, при организации их в одну общую систему образуется полная реконструкция внутреннего строения объекта (Соколов и др., 1997, 2004).

Способ представления данных может быть различным: ортогональные полутоновые сечения, данное сечение можно проводить в любом месте этого объема, также возможно получение объемного представления и др. (рис. 11).

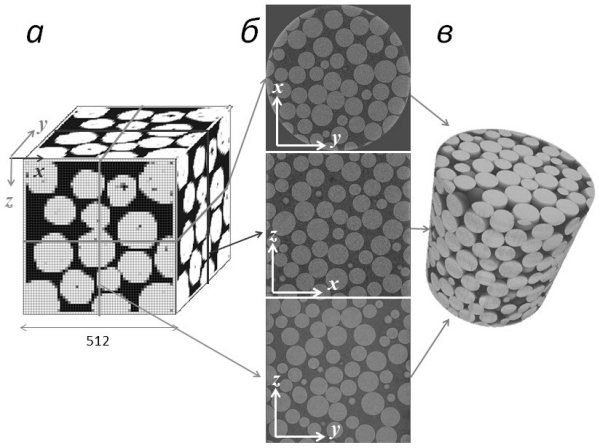


Рисунок 11. Способы представление данных: а) изначальный реконструированный объем данных, б) ортогональные полутоновые сечения, в) объемное изображение (Соколов и др., 2004).

Если говорить об интерпретации данных, то оттенки серого на конечных изображениях соответствуют относительному линейному рентгеновскому коэффициенту ослабления, который является функцией плотности, атомного номера и энергии рентгеновских лучей. Таким образом, выделяют границы между поровым пространством и самим интересующим исследователя веществом.

Помимо компьютерной томографии была изучена и структурная организации почвенного пространства методом сканирующей электронной микроскопии на приборе CamScan и Jeol JSM, и определен элементный состав исследованных образцов.

Таким образом, в ходе лабораторных и полевых наблюдений были подробно изучены различные агрофизические свойства почвенных конструкций и их трансформация.

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

Особенностью проведенных нами экспериментов явилось то, что они состояли из последовательных этапов. В лабораторных, полностью контролируемых условиях было проведено исследование гидрологических свойств почв – водоудерживания и миграции влаги и растворенных веществ, затем модели были перенесены в полевые условия.

В процессе выполнения лабораторного этапа были сформированы насыпные почвенные колонки различного состава и строения, а именно колонки, состоящие из низинного торфа, горизонта В урбанозема территории почвенного стационара МГУ, песка речного, смешанные и слоистые конструкции из представленных горизонтов (рис. 12). В дальнейшем данные конструкции послужили основой для проведения полевого эксперимента.

В почвенных колонках были проведены исследования удерживания и переноса влаги. Подробное описание почв и этапов эксперимента приведены в главе «Объекты и методы исследования».

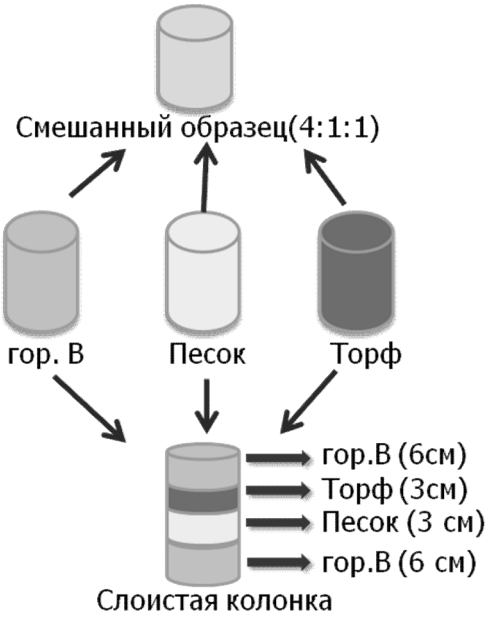


Рисунок 12. Схема создания почвенных колонок для проведения лабораторного эксперимента.

Порционный сбор фильтрата на нижней границе колонок позволил изучить динамику коэффициента фильтрации Кф на нижней границе исследуемых почв, показавший быстрое установление постоянной скорости потока во всех насыпных образцах. После установления постоянной скорости, были рассчитаны средние значения, которые представлены в таблице 1.

Разброс значений для всех вариантов был низким, что связано со спецификой исследуемых почв, представляющих собой, за исключением горизонта В и смеси, – неагрегированные почвы.

Таблица №1. Значения коэффициента фильтрации (Кф) и его оценка по классификации Эггельсмана (1978)

Материалы/ конструкции	Значения Кф, см/сут	Класс	Оценка класса
Песок	777 690 726	VII	Очень высокий
Торф	2030 1905 1860	VII	Очень высокий
Гор. В	115 130 105	V	Средне-высокий
Слоистая	345 320 310	VI	Высокий
Смесь	29 17 34	III	Пониженный

Самые высокие значения коэффициента фильтрации наблюдались в колонках с торфом и песком, что обусловлено высокими значениями общей порозности торфа и высокими объемами пор гравитации, характерными для песка. Происходило снижение коэффициента фильтрации в ряду исследуемых объектов: «Слоистая – Горизонт В – Смесь». Отметим, что слоистая и смешанная конструкции имели различные значения скорости движения влаги и попадают в

разные классы фильтрации по Эггельсману (1978), хотя количество торфа и песка в данных конструкциях было одинаково, отличалось лишь их пространственное расположение. Причем, слоистая конструкция имела более высокие значения Кф, чем смешанная, хотя согласно классическим представлениям физики почв (Качинский, 1979) создание контрастных по своим свойствам слоев способствует снижению скорости передвижения влаги. Вероятно, в условиях высокой влажности с предварительным медленным увлажнением и поднятием уровня воды до полной влагоемкости, смешанная колонка имеет более сложное строение порового пространства. Оно характеризуется меньшим количеством гравитационных пор и замедляет фильтрацию по сравнению со слоистыми колонками. Был произведен расчет коэффициента фильтрации с учетом вклада каждого субстрата (Шеин и др., 2001), он составил порядка 926 см/сут, что выше экспериментальных значений как слоистых, так и смешанных колонок.

Влага в фильтрационных эксперимента подавалась в виде 0,05 М раствора KCl, что позволило получить выходные кривые ионов на нижней границе почвенных колонок (рис. 13) и оценить функциональную специфику порового пространства почв. Выходные кривые представлены в классическом виде в координатах «относительная концентрация иона на нижней границе почвенной колонки» - «такт», где так представляет собой безразмерную величину времени, соответствующую количеству смен порового раствора. Он рассчитывается как отношение количества профильтровавшегося раствора к объему пор в почвенной колонке (Умарова, 2011).

В горизонте В выходные кривые калия расположены значительно ниже кривых хлорид-иона (рис. 13-а), что связано с более высокой дисперсностью и агрегированностью, дифференцирующее поровое пространство на поры фильтрационные (или гравитационные, межагрегатные) и застойные, представленные большим количеством тонких пор, в большей степени расположенные во внутриагрегатном поровом пространстве. Именно поэтому, хорошо сорбирующийся калий так сильно отстает от хлорид-иона, движущийся большей частью только в средней части пор. Со временем происходит большее

расхождение кривых, т.к. все большое количество тонких пор вовлекается в массоперенос. В пользу этого говорят и более низкие значения коэффициента фильтрации по сравнению с другими почвенными горизонтами.

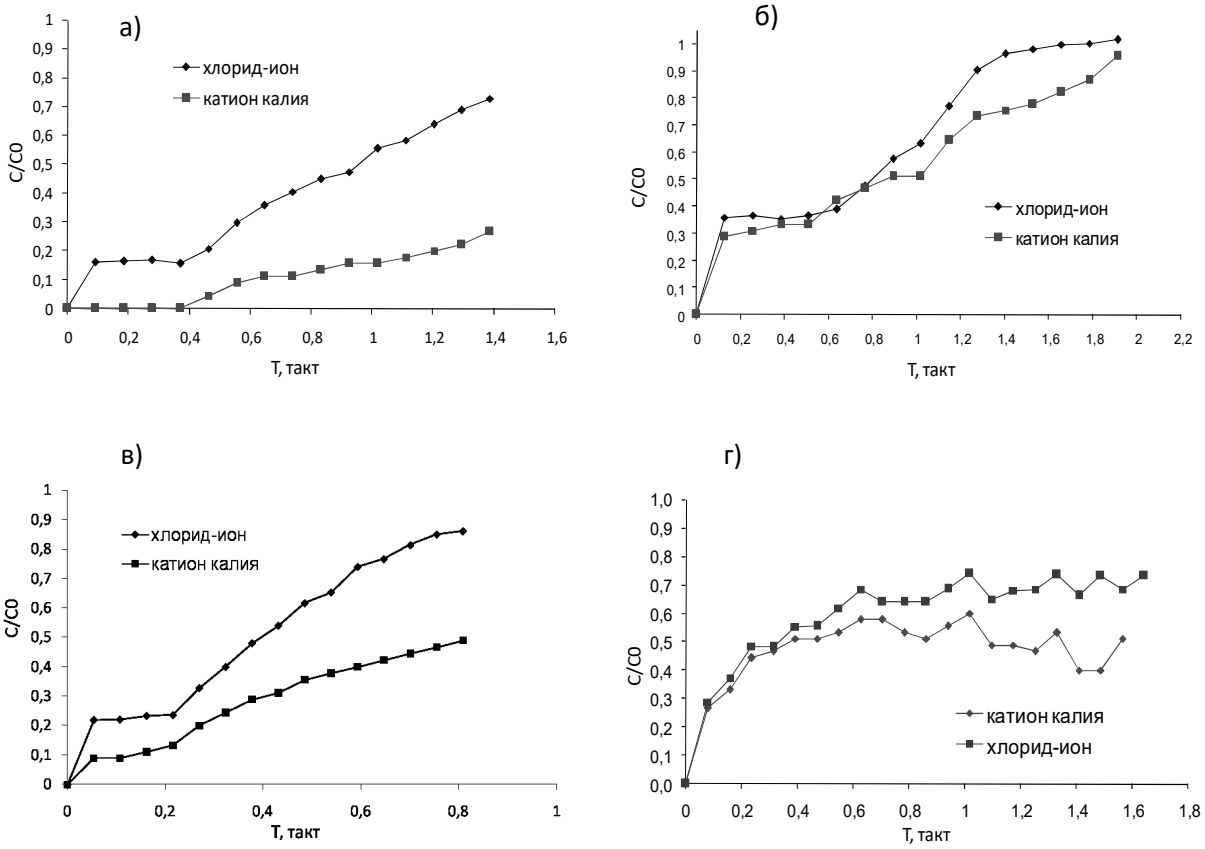


Рисунок 13. Выходные кривые ионов калия и хлора насыпных колонок: а) горизонт В, б) песок, в) слоистая, г) смесь.

Выходные кривые иона калия и хлора для песчаной колонки наиболее близко располагались друг к другу (рис. 13-б), их вынос происходит одновременно. И весьма быстро, уже ко второму такту, концентрация обоих ионов на нижней границе колонок стала равна их концентрации в подаваемом растворе. Это значит, что практически все поровое пространство участвует в массопереносе. Так как ион хлора движется в средней части пор, вследствие его отрицательной сорбции, близкое расположение его выходных кривых с выходными кривыми калия, свидетельствует о том, что они в значительной степени представлены порами гравитации, где влияние стенок пор как на сорбирующуюся, так и несорбирующуюся метки ослаблено.

Выходные кривые ионов для слоистой колонки (рис. 13-в) являются неким средним результатом представленных в ней слоев, хотя в наибольшей степени влияние на массоперенос ионов оказал горизонт В: наиболее близка его форма. Это вполне закономерно, т.к. 2/3 колонки заполнены именно этим горизонтом. Однако, все же интенсивность миграции в слоистых колонках выше благодаря песчаной прослойке.

В смеси (рис. 13-г) расхождение кривых ионов калия и хлора меньше, чем в горизонте В. Интересны сами формы выходных кривых, отличающиеся от остальных колонок: весьма быстрое возрастание концентраций в соответствии со значениями тактов, причем кривые ионов располагаются близко друг от друга. На фоне низких значений коэффициента фильтрации это свидетельствует о том, что в данном варианте наиболее ярко выражен фильтрационный тип почвенной влаги (Дмитриев,1971), т.е. миграция влаги и растворенных веществ происходит постепенным и последовательным прохождением фронта раствора по длине колонки практически без формирования инфлюкционных или преимущественных потоков влаги (Умарова, 2011). Поэтому в дальнейшем, несмотря на некоторое расхождение кривых, сами кривые очень медленно увеличивают концентрацию, что согласуется с величинами коэффициента фильтрации.

Далее, для сравнения миграции ионов в отдельных колонках, были построены графики выходных кривых каждого иона для всех четырех колонок (Приложение А, рис. 1). Выше остальных выходная кривая хлорид–иона (Приложение А, рис. 1-а) располагается в колонке из смеси. Это связано, прежде всего, с высоким содержанием органической и органоминеральной части почвы, так же большой вклад вносит высокая дисперсность. Закономерно медленнее остальных хлорид – ион передвигается в колонке с горизонтом В. Выходная кривая калия в колонке из смеси расположена выше остальных (Приложение А, рис. 1-б). Для данного иона наблюдается меньшая скученность кривых, нежели чем для хлорид-иона, так как калий лучше сорбируется. Для колонки с торфом выходные кривые хлорид-иона и катиона калия получены не были, что связано с

высоким коэффициентом фильтрации торфа, не позволившими получить порционный сбор фильтрата.

После окончания фильтрации в течение двух недель проводился отбор почвенных образцов из колонок для получения динамики вертикального распределения влажности в процессе иссушения. На рисунке 14 представлены вертикальные кривые распределения массовой влажности в почвах колонок после капиллярного насыщения перед поливом (1 день), после окончания фильтрационной части эксперимента (после полива), на 6 и 15 день. Важно обратить внимание на то, что значения влажности для разных колонок изменялись в различных диапазонах. Для того чтобы детально изучить ее послойную динамику, эпюры влажности были построены с соответствующим диапазону шагом (рис. 14).

Начальное распределение влажности колонки с торфом неравномерное, увеличивающееся с глубиной, что свидетельствует о большом вкладе капиллярных пор, способных удержать дополнительное количество влаги в зоне капиллярной каймы, на фоне высоких значений влажности. В отличие, например от песка, который подобно торфу, обладая большой скоростью фильтрации, имеет преимущественно поры гравитации. В песчаной колонке распределение начальной влажности имеет практически вертикальную направленность с некоторым возрастанием значений в нижней части.

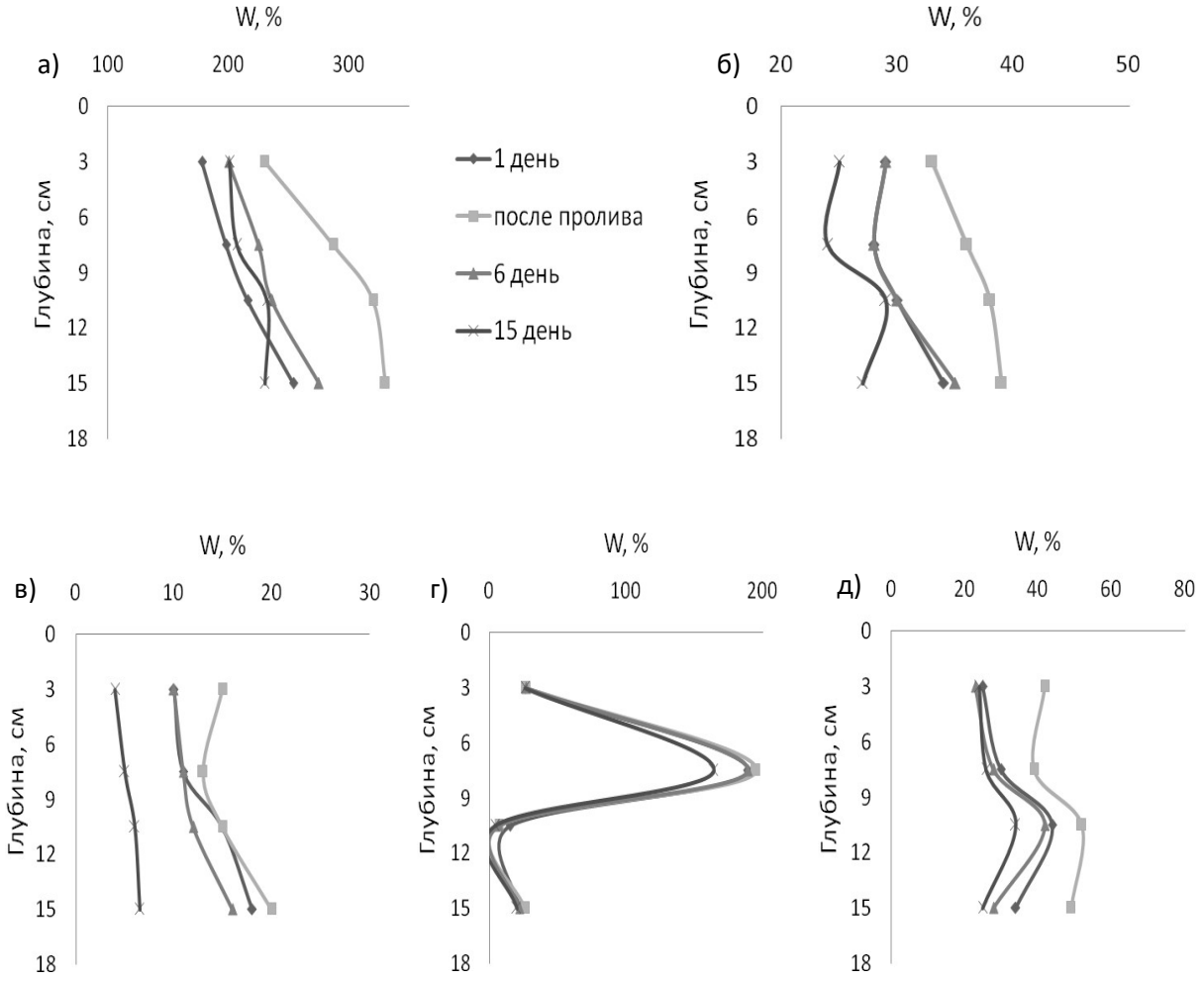


Рисунок 14. Вертикальное распределение влажности в исследуемых почвенных колонках перед поливом, после окончания фильтрации влаги, на 6 и 15 день, где а) колонка с торфом, б) с горизонтом В, в) с песком, г) слоистая, д) смесь.

Обращают на себя внимание слоистые колонки (рис. 14-г) с отчетливо дифференцированным профилем по влажности: резким возрастанием значений в торфяном слое и резким снижением в песчаном.

В колонках со смесью (рис. 14-д) высокое варьирование влажности обусловлено малым размером отбираемых почвенных проб, соизмеримых с размером компонентов почвенных горизонтов.

После фильтрации и стекания гравитационной воды, влажность всех почвенных колонок возросла. По-сути, данная влажность близка к значению наименьшей влагоемкости (НВ). Согласно теоретическим представлениям о почвенно-гидрологических константах (Качинский, 1970; Воронин, 1985; Роде, 1965; Роде, 2008), капиллярная влагоемкость, определяемая в зоне расположения

капиллярной каймы, превышает наименьшую влагоемкость. Однако в данном эксперименте влажность почвы после окончания фильтрации оказалась выше капиллярной влагоемкости. По-видимому, это обусловлено явлениями гистерезиса – разницей в значениях влажности в зависимости от направления изменения влажности – режим увлажнения или иссушения. И в первую очередь, это касается торфа с высоким содержанием органического вещества и пониженной смачиваемостью при увлажнении сухой почвы.

В процессе иссушения почвенные колонки по-разному теряли влагу. Дифференцированность слоистой колонки по значениям влажности лишь несколько усилилась в процессе сушки. В смешанной конструкции также наблюдалась закономерная тенденция снижения влажности, однако высокий разброс значений сохранился и к концу эксперимента.

Абсолютные значения влажности полностью согласуются с генезисом исследуемых горизонтов – самые высокие значения влажности закономерно наблюдались в торфяной колонке, а низкие - в песчаной колонке, что обусловлено различной водоудерживающей способностью исходных образцов.

Отметим, что значения влажности слоев в составе слоистой конструкции имели более низкие значения, чем в аналогичных гомогенных колонках на протяжении всего эксперимента, что видимо, обусловлено взаимным влиянием почвенных горизонтов.

Важно обратить внимание и на то, что нижняя граница всех почвенных колонок имеет несколько повышенные значения влажности, что связано с резким разрывом капилляров на границе с воздухом, препятствующим формированию капель и их падению под действием силы тяжести вследствие поверхностного натяжения воды (т.н. лизиметрическая граница).

Для сравнения количества влаги в почвенных колонках был проведен расчет послойных и общих запасов влаги в мм водного слоя. В таблице №1 (Приложение Б) представлены результаты расчетов по тем же датам, что и влажность почвы (рис. 14). Сразу отметим то, что верхняя и нижняя строки для каждого горизонта рассчитаны для слоев, мощностью 6 см, а средние – для 3 см слоев. Наибольшее

значение запасов влаги принадлежит торфу. Именно торф обладает наибольшей водоудерживающей способностью, что соответствует литературным источникам (Смагин и др., 2004). Наименьшими запасами влаги обладает песок.

Для того чтобы оценить влияние строения профиля на водоудерживание, были рассчитаны запасы влаги в отдельных слоях слоистой конструкции и в соответствующем по расположению и мощности слое конструкции, который полностью состоит из данного горизонта. По результатам построены гистограммы изменения запасов влаги в течение эксперимента (рис. 15).

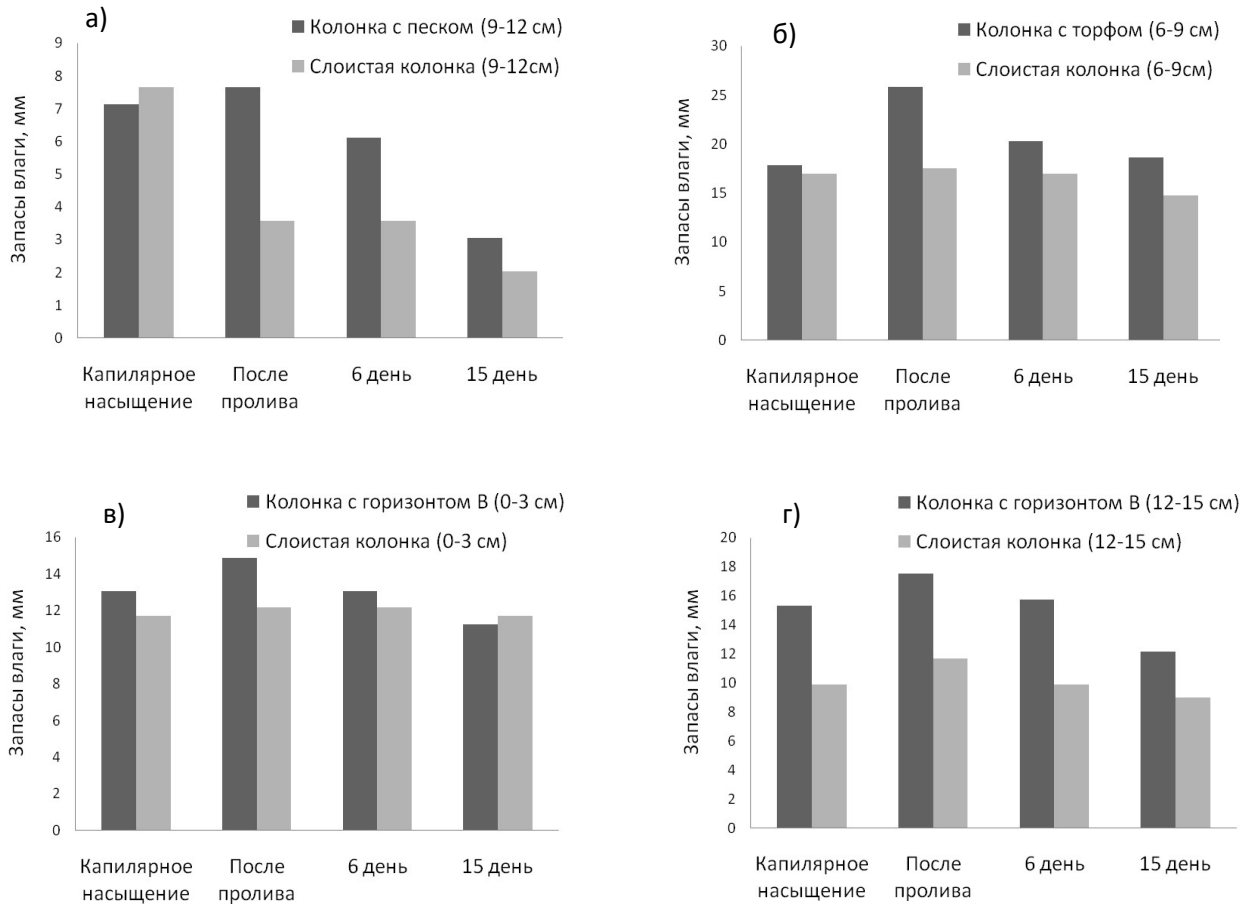


Рисунок 15. Запасы влаги в слоях мощностью 3 см, состоящих: а) из песка, б) из торфа, в) из горизонта В (верхний слой колонки), г) из горизонта В (нижний слой колонки).

При сравнительном анализе слоя песка 9-12 см в слоистой колонке и аналогичного слоя в колонке из песка, было установлено, что лишь в момент

капиллярного насыщения слой из песка 9-12 см в слоистой колонке обладал большими запасами влаги, по сравнению с аналогичным слоем, располагающемся в колонке из чистого песка (рис. 15-а). В процессе иссушения запасы влаги в слое песка песчаной колонки оставались выше, чем аналогичном слое слоистой конструкции. Результатом данной ситуации могло стать то обстоятельство, что над слоем песка в слоистой конструкции располагался слой торфа (6-9 см), а под ним слой горизонта В, которые обладали высокой водоудерживающей способностью.

При капиллярном насыщении торф и горизонт В в слоистой колонке подтягивали влагу. В то время как вышележащий слой песка (6-9 см) в колонке из песка обладает низкой водоудерживающей способностью и не может, подобно торфу, подтягивать влагу. В результате в момент капиллярного насыщения слой песка, располагающийся в слоистой колонке под слоем торфа, обладал большими запасами влаги, а в последующем, наоборот, ввиду высокой водоудерживающей способности торфа и, получая меньше влаги под действием гравитационных сил, чем аналогичный слой в колонке из песка, обладал меньшими запасами влаги.

Запасы влаги слоя торфа в слоистой колонке всегда ниже, чем у аналогичного слоя в колонке из чистого торфа (рис. 15-б). Отметим весьма близкие зачения при начальном насыщении для обеих колонок и весьма медленное снижение влажности. Это свидетельствует о том, что в торфе наиболее сильно выражены капиллярно-сорбционные силы по сравнению с отстальными горизонтами, хорошо удерживающими влагу.

Похожая на торф ситуация сложилась в слоях горизонта В, т.к. он также обладает высокой водоудеживающей способностью (рис. 15-в). Интересно отметить, что практически для всех вариантов (за исключением песка) во все периоды наблюдений запасы влаги в «моно» колонках, сложенных одним из горизонтов выше, чем в слоистых. Однако, снижение влажности гораздо более медленное в слоистых колонках. По-видимому, это связано с проявлением эффекта жаменовских цепочек, как в период увлажнения (капиллярное насыщение), так и при иссушении. Возможность формирования защемленного

воздуха на стыке горизонтов, резко отличающихся по гранулометрическому составу и содержанию органического вещества, ведет к уменьшению объема влагопроводящего и влагосодержащего пространства, что и сказалось на величинах влажности и их изменении.

На рисунке 16 представлена динамика содержания общих запасов влаги исследуемых колонок в разные временные промежутки. Обращает на себя внимание то, что максимальные значения запасов влаги характерны для торфяной колонки, колонки с горизонтом В и смешанной колонки.

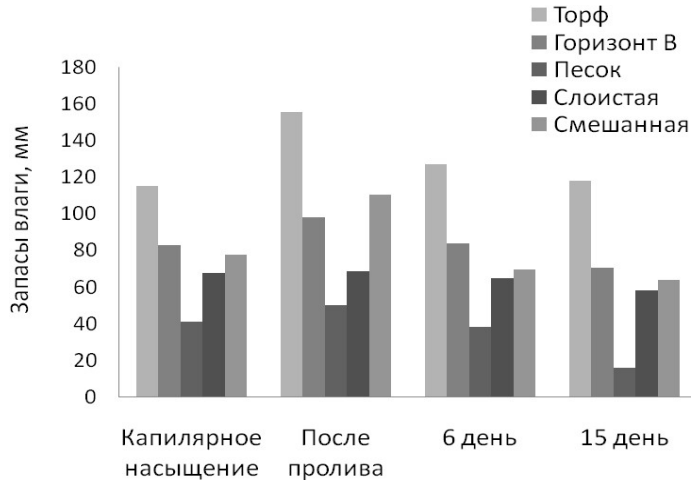


Рисунок 16. Общие запасы влаги исследуемых колонок в разные временные промежутки.

Причем, если в процессе иссушения торфяная колонка продолжала долго иметь высокие запасы воды, последовательно снижая их величины, в колонках с горизонтом В и смеси произошло резкое уменьшение запасов влаги к 15 дню опыта.

Обращает на себя внимание слоистая почвенная конструкция, которая на протяжении всего опыта сохраняла высокую стабильность содержания влаги, и к концу эксперимента значения запасов влаги оказались близкими к смешанной конструкции, превышавшей почти в 1,5 раза после фильтрации. Это значит, что дифференцированость профиля привела к меньшему росту влажности при

увлажнении и большей сохранности влаги при иссушении по сравнению со смешанной конструкцией.

Таким образом, в лабораторном эксперименте по исследованию переноса влаги и веществ и сохранению влаги в процессе иссушения показал отчетливые различия между вариантами, сложенными разными генетическими горизонтами, и между вариантами, имеющими различную пространственную организацию использованных при создании почвенной конструкции горизонтов. Смешанная и слоистая колонки имеют разные классы по классификации Эггельсмана, слоистая - «Высокий» класс, а смешанная - «Пониженный». Также распределения содержания влаги слоистой колонки дифференцированно в соответствии со строением профиля. Запасы влаги в «чистых» колонках (горизонт В, торф) выше слоистой. Однако снижение влажности в слоистой колонке гораздо более медленное. Она на протяжении всего опыта сохраняла высокую стабильность содержания влаги и к концу эксперимента значения запасов влаги оказались близкими к смешанной конструкции.

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

В ходе практического этапа работы для изучения трансформации структурного состояния конструктоземов были созданы почвенные конструкции в полевых условиях Подробная схема почвенных конструкций, сформированных на территории почвенного стационара МГУ в 2011 г., представлена на рисунке 17. Особенностью данных конструктоземов явилось то, что в некоторые из них были внесены гуматы согласно схеме, которая подробно описана в главе 2 «Объекты и методы исследования».

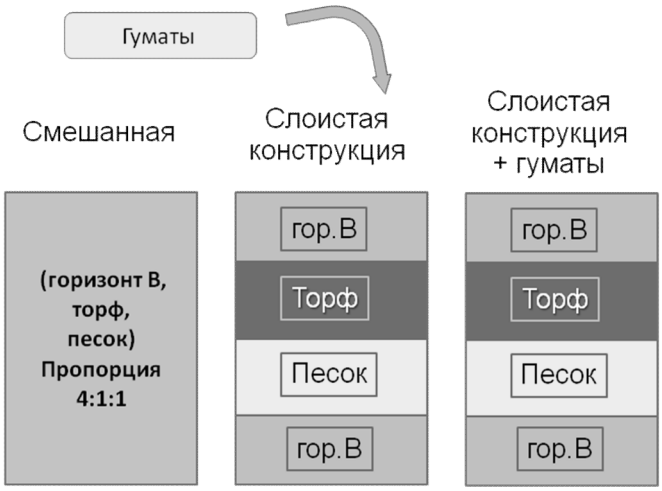


Рисунок 17. Схема почвенных конструкций полевого эксперимента.

Целью данных исследований явилось, наряду с изучением влияния строения профиля на изменение агрофизических свойств в годовом аспекте исследовать структурообразующую роль гуматов, особенно для торфяного слоя, который, как известно, не обладает почвенной структурой, что является одной из причин его быстрой деградации при использовании в составе почвенных конструкций.

Гуминовые кислоты и их соли (гуматы) являются естественным продуктом круговорота веществ в окружающей среде, обладают способностью не только активировать рост и развитие живых организмов (в первую очередь растений и почвенных микроорганизмов), но и эффективно связывать и трансформировать

токсичные соединения, поступающие в почву в результате хозяйственной деятельности человека (Степанов, 2008; Макаров и др., 2016).

Промышленные гуматы могут действовать как эффективные почвенные мелиоранты для рекультивации деградированных и загрязненных почв, причем их влияние наиболее эффективно при неблагоприятных условиях окружающей среды. Введение гуматов заметно стимулирует прорастание семян, улучшает дыхание и питание растений и уменьшает поступление в растения тяжелых металлов и радионуклидов (Макаров и др., 2016).

Были проведены исследования структурного состояния почв по данным сухого и мокрого просеивания по Саввинову (рис. 18). Отметим, что самые крупные агрегаты- глыбы (размером более 10 мм) и самые мелкие частицы (размером менее 0,25 мм) - пылеватые, указываются как неблагоприятная составляющая при оценке агрофизического состояния почвы (Шеин, 2006).

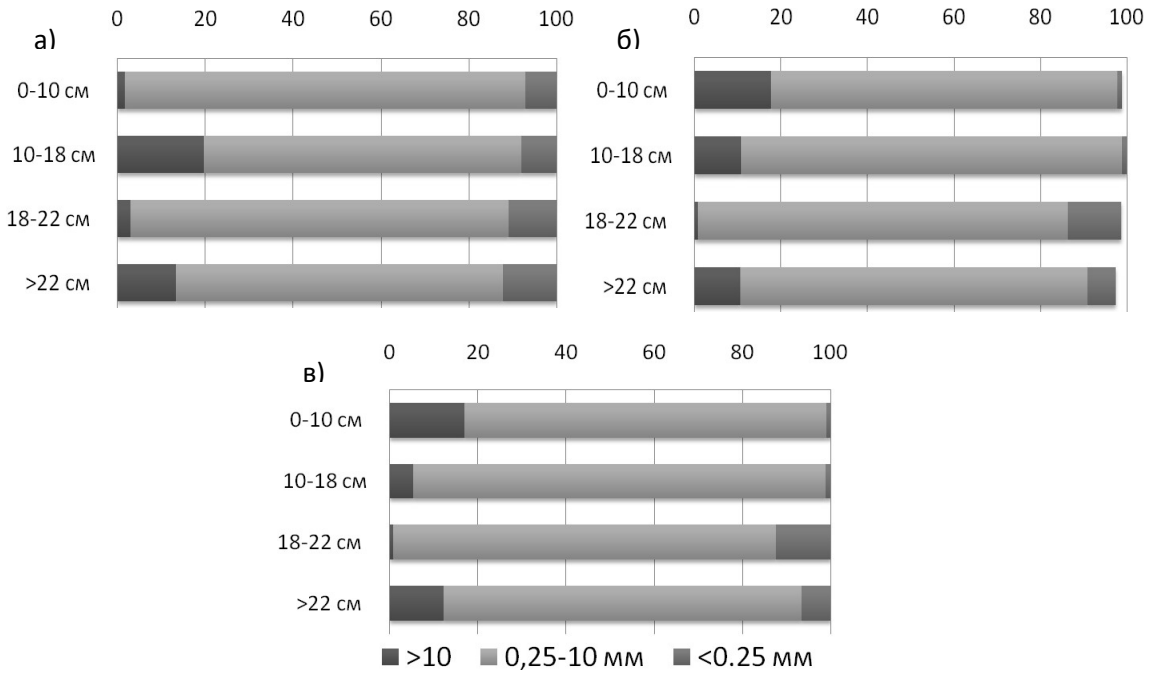


Рисунок 18. Профильное распределение агрегатов разного размера в почвенных конструкциях: а) смешанной конструкции, б) слоистой конструкции без гуматов, в) слоистой конструкции с гуматами.

Содержание агрономически ценных агрегатов является одним из наиболее важных параметров почвы, чем выше содержание этих агрегатов, тем лучше

качество почвы для роста и развития большинства культурных растений (Вадюнина, Корчагина, 1987). Исследования размеров почвенных агрегатов почвенных конструкций было проведено для исходных образцов и образцов, отобранных через год функционирования конструкций. По результатам сухого просеивания установлено, что наибольшее количество агрономически ценных агрегатов представлено в смешанной конструкции в верхнем слое 0-12 см и составило 91%. В то время как в верхнем горизонте В слоистой конструкции без гуматов их содержание оказалось равным около 80%, а в слоистой конструкции с гуматами около 82% (рис. 18-б). Понятно, что, в первую очередь, повышенные значения в смешанной конструкции связаны с присутствием крупных фракций песка и торфа.

Однако, горизонты слоистой конструкции, расположенные ниже торфяного имели более высокие показатели (85-90%), чем поверхность. Вероятной причиной этого стало разложение части органического вещества торфа и улучшение структурных свойств нижележащего слоя.

Результаты сухого просеивания показали, что верхние слои исследованных конструкций обладают отличной структурой по Качинскому (Вадюнина, Корчагина, 1986), слой 10-18 см смешанной конструкции имеет хорошую структуру, слоистые конструкции с гуматами и без гуматов обладают отличной структурой. Можно отметить, что глубже 18 см все конструкции проявили себя как отлично оструктуренные.

Мокрое просеивание позволило дать представление о водоустойчивости агрегатов (рис. 19). В целом водоустойчивость агрегатов данных конструкций закономерно низкая, что связано с недолговременным функционированием почвенных конструкций.

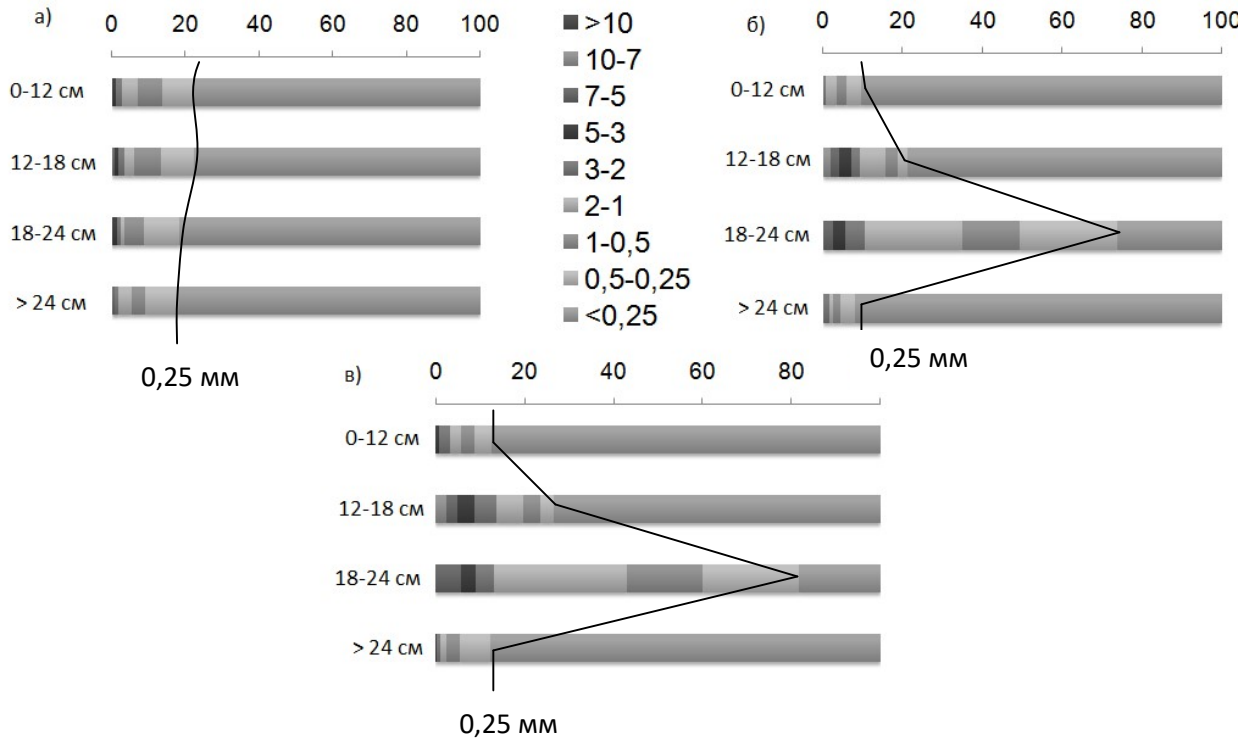


Рисунок 19. Профильное распределение водоустойчивых агрегатов разного размера в почвенных конструкциях: а) смешанной конструкции, б) слоистой конструкции без гуматов, в) слоистой конструкции с гуматами.

Однако были выявлены некоторые общие закономерности. Наибольшее количество водоустойчивых агрегатов обнаружено в смешанном образце - более 22% в верхней 20-ти сантиметровой толще. В то время как у слоистой конструкции, верхняя толща которого представлена минеральным горизонтом В, - около 9%. Внесение в него гуматов значимо повысило водоустойчивость структурных отдельностей до 15%.

Большое значение в образовании агрегатов и деградации структуры почв имеет содержание органического вещества, являющегося важнейшим компонентом для образования структуры почв. Именно поэтому содержание углерода, с учетом его биофильности, является одним из ключевых понятий в плодородии почв.

Распределение содержание углерода в конструкциях было произведено через год после функционирования конструкций. Результаты по содержанию органического вещества представлены на гистограмме рисунке 20.

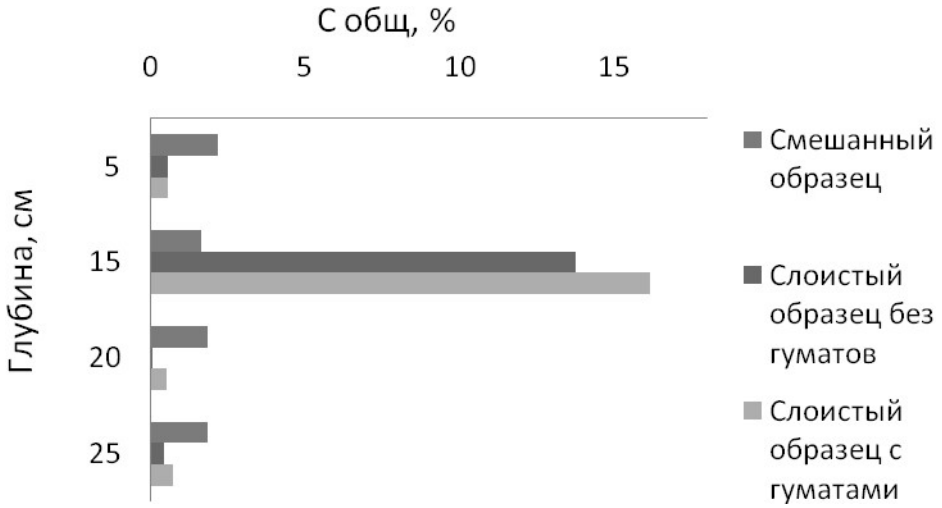


Рисунок 20. Содержание органического углерода в горизонтах конструктоземов.

Профильное распределение элемента закономерно соответствует процессам генезиса: максимальные значения в торфяных слоях, минимальные – в песчаных.

Однако были установлены и некоторые особенности распределения углерода. Очень близкие значения обнаружены в верхнем горизонте слоистых конструкций, представленных горизонтом В, независимо от внесения гуматов. Это вполне закономерно, т.к. небольшие дозы гуматов не могли заметно изменить количество органического вещества в слое. 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%.

Для анализа произошедших изменений в структуре почв и роли органического вещества были исследованы его гидрофобные и гидрофильные фракции методом гидрофобной хроматографии. Рабочей гипотезой явилось положение о том, что именно гидрофобный углерод способствует образованию водоустойчивых агрегатов (Шеин, Милановский 2003; Степанов, 2008).

Исследования были начаты с изучения торфа - одного из основных компонентов, который входил в состав почвенных конструкций, как в виде

отдельного слоя, так и в составе смеси. Была приготовлена вытяжка, в которую перешли гуминноподобные вещества. На рисунке 21 представлена хроматограмма исходного торфа.

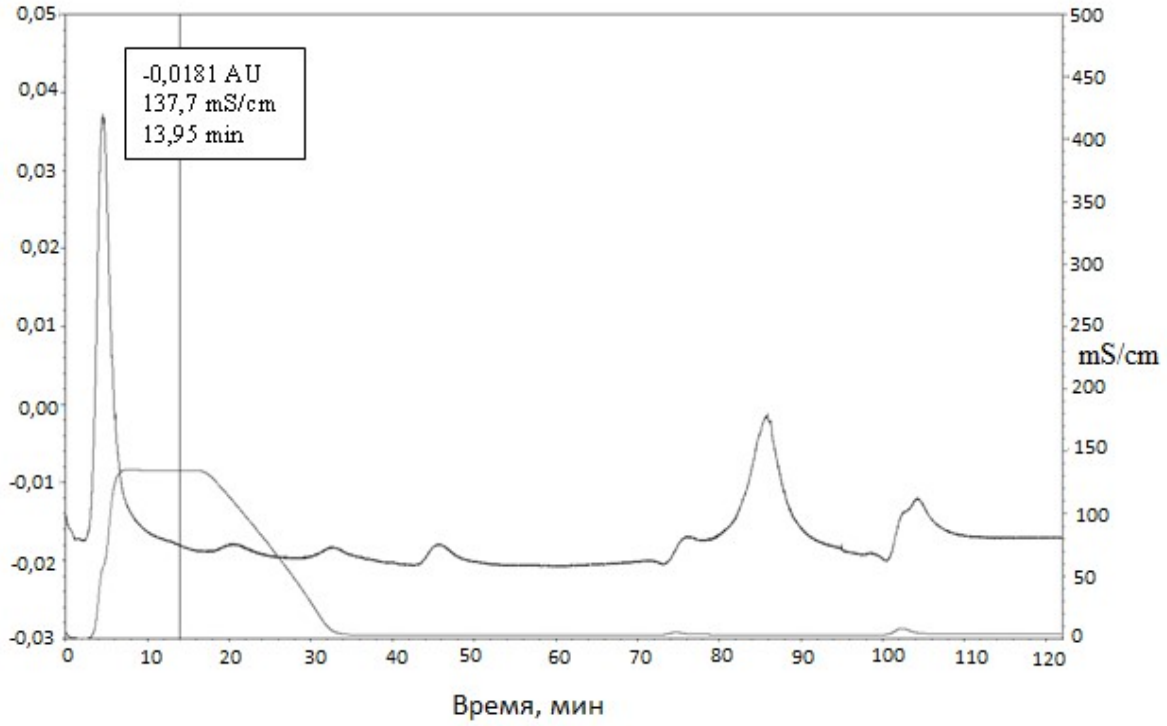


Рисунок 21. Хроматограмма исходного образца торфа.

Для фракционирования органического вещества было введено несколько буферных растворов, для усиления разделения гидрофобных и гидрофильных компонентов. На рисунке 21 отчетливо заметен четкий, мощный пик в левой части графика, что соответствует гумусовым веществам (ГВ) с гидрофильной поверхностью. В правой части графика нет столь отчетливых и выраженных пиков, они менее заметны. Для количественной оценки наблюдаемых изменений удобно использовать показатель степени гидрофобности ГВ (гуминового вещества) (hph), рассчитываемый как отношение площадей гидрофобных фракций к гидрофильным (Степанов, 2005). При этом делается допущение о близости коэффициентов экстинкции индивидуальных фракций и, следовательно, прямой зависимости площади пика от количества вещества. Показатель hph составил 0,4962. Таким образом, большая часть ГВ исходного торфа представлена органическим веществом с гидрофильной поверхностью.

Были изучены изменения, происходящие с торфом при внесении в него гуматов через год функционирования в составе конструктоземов (рис. 22).

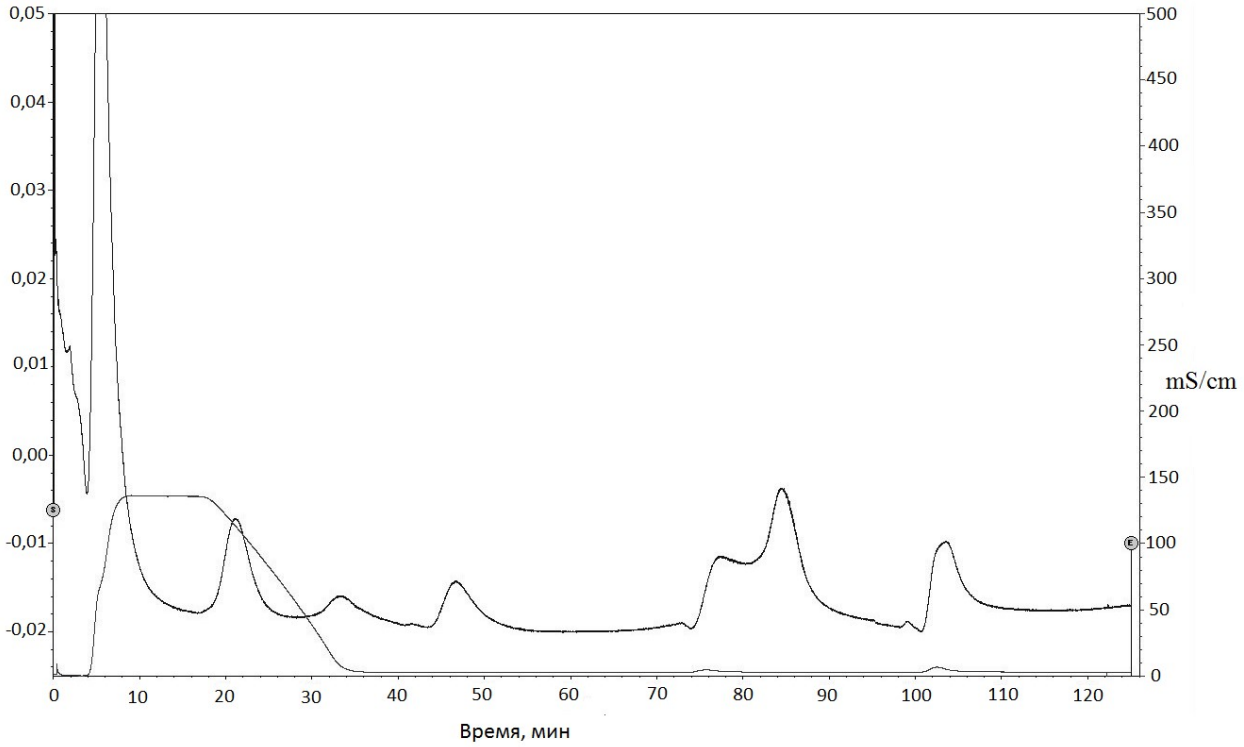


Рисунок 22. Данные исследования хроматографии образца торфа с добавлением гуматов.

Через год после добавления гуматов в торф отчетливо заметно усиление пиков, как в гидрофобной зоне, так и в гидрофильной. Но при этом, стоит отметить, что гидрофильных фракций остается больше, на что указывает и показатель hph составивший 0,5542.

Для смеси, состоящей из торфа, песка и горизонта В, через один год после функционирования график соотношения фракций компонентов органического вещества представлен на рисунке 23.

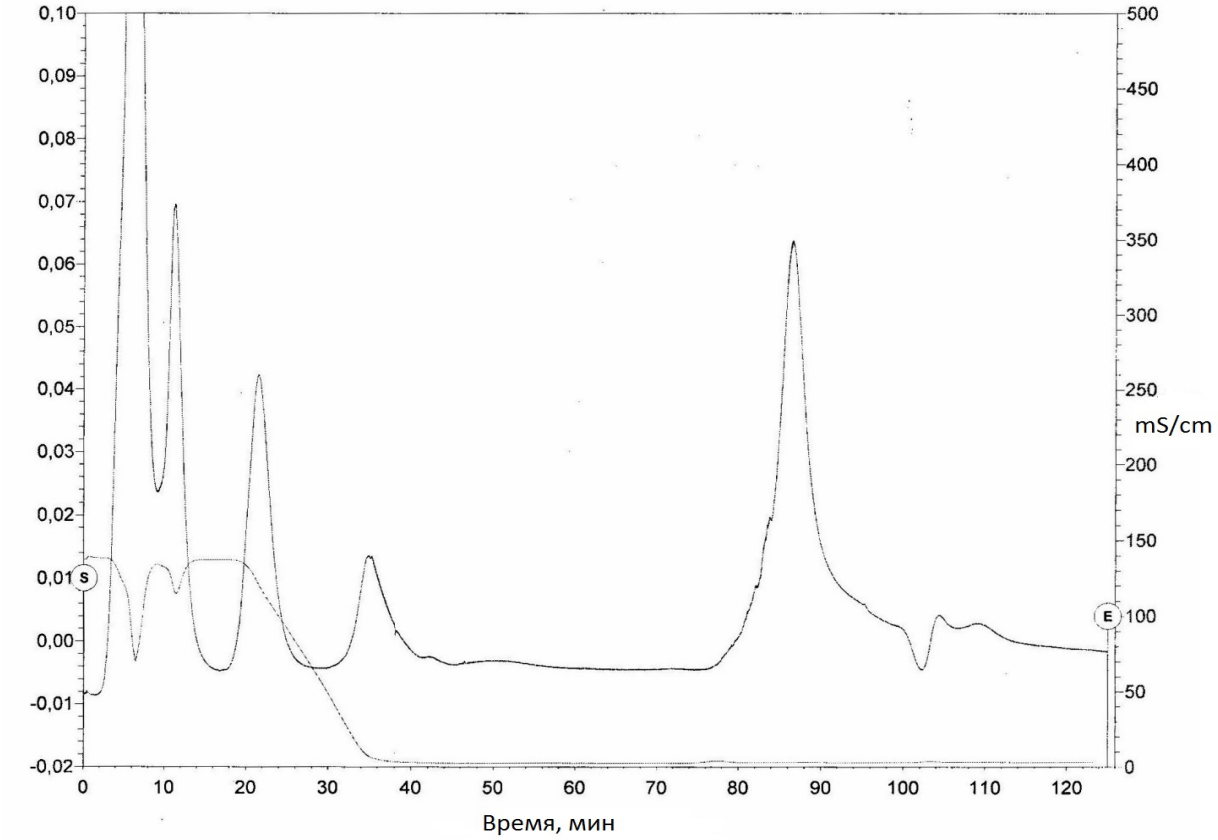


Рисунок 23. Данные исследования хроматографии образца почвенной смеси после годового функционирования.

Представлены как гидрофобные, так и гидрофильные фракции, что свидетельствует об разнообразии органических веществ, которые являются одним из основных факторов структурообразования и стабилизации почвенной системы, ведущих к лучшему функционирование биоты, производящего органический клей. Показатель hph ы данном варианте =0,9813.

Полученные результаты согласуются с теорией Милановского - Шеина (Шеин, Милановский, 2003). Их гипотеза основана на амфифильных свойствах почвенного органического вещества, гидрофильные компоненты которого в водной среде формируют связь с минеральными частицами, а гидрофобные - друг с другом, создавая водоустойчивые органоминеральные агрегаты. Гидрофобные структурообразующие компоненты образуются в анаэробных условиях, локализованных внутри почвенного агрегата. Данная теория получила экспериментальное подтверждение в настоящем исследовании.

Таким образом, добавление гуматов в почвенные конструкции привело к заметному улучшению структурного состояния почв и водоустойчивости агрегатов уже в первый год функционирования конструктоземов. Известно, что даже небольшое улучшение структуры влияет на качество жизни растительности, отражением которого является их биомасса. Именно поэтому была изучена продуктивность почвенных конструкций без дополнительного и с дополнительным внесением гуматов путем измерения биомассы газонных трав, которые были высеяны весной 2011 года, выявившей отчетливые различия между вариантами (рис. 24).

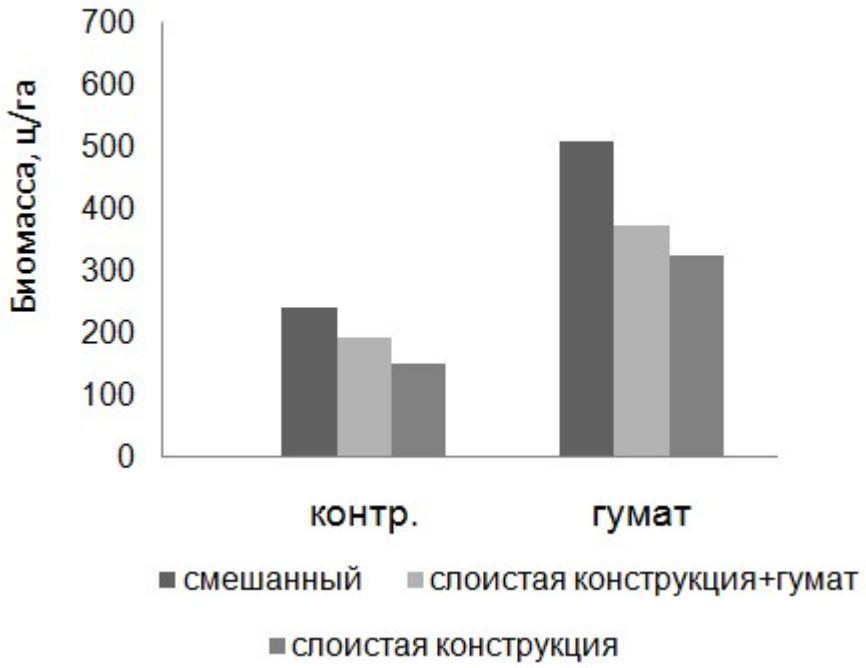


Рисунок 24. Диаграмма биомассы газонных трав на исследуемых почвенных конструкциях за вегетационный период.

Определение биомассы показало, что наибольшие значения характерны для смешанной конструкции (рис. 24), наименьшие значения для слоистой конструкции без добавления гуматов (рис. 24-контр.). Разница между вариантами, вероятно связана с обогащением горизонта В внесением торфа и улучшением его гидрофизических и теплофизических свойств путем пескования. Стоит отметить, что в случае со слоистой конструкцией добавление гуматов при закладке

увеличило ее продуктивность (рис. 24-контр.). При этом дополнительное внесение гуматов в процессе функционирования конструкций (рис. 24-гумат) резко повысило биомассу всех вариантов.

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

Полученные результаты первого полевого эксперимента были положены в основу второго полевого этапа. Целью данного раздела экспериментальных работ было исследование влияния строения конструктоземов на их трансформацию в период первых 2 лет их функционирования. Рабочей гипотезой явилось, то, что многочисленными исследованиями искусственно-созданных почв для различных целей из насыпных субстратов (конструктоземов, почв лизиметрических установок) показано, что в первые годы функционирования происходит быстрая, фиксируемая трансформация свойств твердой фазы почв (Шеин и др., 1997; Чижикова, 2002; Умарова, Иванова, 2008; Умарова, 2011).

Похожие результаты получены при изучении пахотных почв, которые под действием вспашки верхний горизонт регулярно представляет собой насыпную почву с отчасти разрушенным строением порового пространства почв, что приводит к изменению свойств почв (Чижикова и др., 2002; Скворцова, Уткаева, 2008; Умарова, 2011; Смагин, 2012). В данном эксперименте строение и варианты конструктоземов аналогичны предыдущим экспериментам, разница заключалась в замене горизонта В на горизонт Апах, так как именно он, как правило, используется при создании конструктоземов в городском озеленении.

В 2012 г с целью решения поставленных задач были сформированы почвенные конструкции различного строения, строение площадок подробно описано в главе «Объекты и методы», на территории почвенного стационара МГУ. Всего было создано 28 площадок.

5.1. Основные физические и химические свойства конструктоземов

Были определены основные физические и химические свойства исходных почвенных горизонтов и также через 2 года после начала их функционирования (табл. №2).

Таблица №2. Основные физико-химические свойства исходных почвенных горизонтов и в процессе функционирования.

Почвенные образцы		ρ_s,г/см^3	ρ_b, г/см^3	ε,см^3/см^3	S, м^2/г	pH	Собщ, %
Исходные образцы	Апах	2,51	1,20	0,52	10,6	7,08	2,24
	смесь	2,31	0,94	0,59	9,1	6,55	8,15
	торф	1,00	0,31	0,69	0,2	6,18	42,7
	песок	2,59	1,63	0,37	1,1	6,87	1,08
Апах	0–5 см	2,41	1,28	0,46	7,5	6,92	2,68
	5 – 10 см	2,47	1,34	0,45	7,4	7,38	2,17
	10 – 20 см	2,46	1,32	0,46	10,6	5,85	2,21
Смесь	0 – 5 см	2,26	1,15	0,49	1,0	6,90	4,85
	5 – 10 см	2,31	1,16	0,50	1,1	7,32	4,02
	10 –20 см	2,35	1,18	0,50	0,7	7,09	5,08
Слои	Апах (0-6см)	2,40	1,16	0,52	8,6	6,63	2,79
	Торф (6-12 см)	1,18	0,35	0,69	0,3	6,95	30,9
	Песок (12-18см)	2,56	1,72	0,32	2,0	6,18	0,65

Отмечается закономерно высокое содержание углерода в исходном торфе слоистой конструкции. Его количество через 2 года снизилось более чем на 20 % от исходного, а в смешанной конструкции – еще более резко – с 8,15 до 4,85 к 2014 году. Однако расчет запасов углерода с учетом изменения плотности почвы показал, что снижение количества углерода не столь значительно, и составило около 14 % в торфе и четверть в смеси от начальных значений. Через два года после функционирования торф в составе слоистой конструкции увеличил свою плотность и плотность твердой фазы, хотя продолжает оставаться весьма пористым. Происходит снижение удельной поверхности, определенной по азоту, для пахотного горизонта поверхностных слоев слоистой конструкции и конструкции, состоящей целиком из Апах, практически не меняясь для образцов, отобранных с глубины 10-20 см.

Было проведено определение актуальной кислотности (pH) в водной вытяжке (таблице 2). Исходные образцы имеют реакцию среды близкую к нейтральной, кроме исходного образца торфа и смешанной конструкции (6.18 и 6.55 соответственно). После функционирования реакция среды конструктозёма из горизонта Апах стала более кислой, особенно на глубине 10-20 см, также снизилось значение pH в песке. Во всех вариантах актальная кислотность имеет значения, являющиеся оптимальными для газонных трав.

В задачи настоящего исследования не входило исследование трансформации агрохимических свойств. Однако необходимо отметить, что образцы исходного Апах и в слое Апах (0-6см) из слоистой конструкции имели повышенное содержание подвижных форм фосфора по методу Кирсанова (Минеев, 2004). Средние значения наблюдается в исходной смеси и смеси на глубине 0-5 см. В остальных образцах содержание фосфора низкое или очень низкое.

Исследование подвижных форм калия выявило, что в исходном образце Апах и в слое Апах на глубине 0-5см из слоистой конструкции наблюдается очень высокое содержание. Во всех образцах смеси наблюдается среднее значение калия. В торфе и песке как в исходных образцах, так и в функционировавших первоначальный период наблюдается очень низкое значение калия по методу Кирсанова (Минеев, 2004).

5.2. Изменение гранулометрического состава конструктоземов

Результаты анализа гранулометрического состава представлены на рисунке 25. Графики были построены для отдельных почвенных горизонтов, находящихся в составе различных почвенных конструкций. Установлено, что в процессе функционирования произошло увеличение на 2% процентного содержания илистой фракции для конструктозёма (с 5,7 до 7,77), состоящего из горизонта Апах.

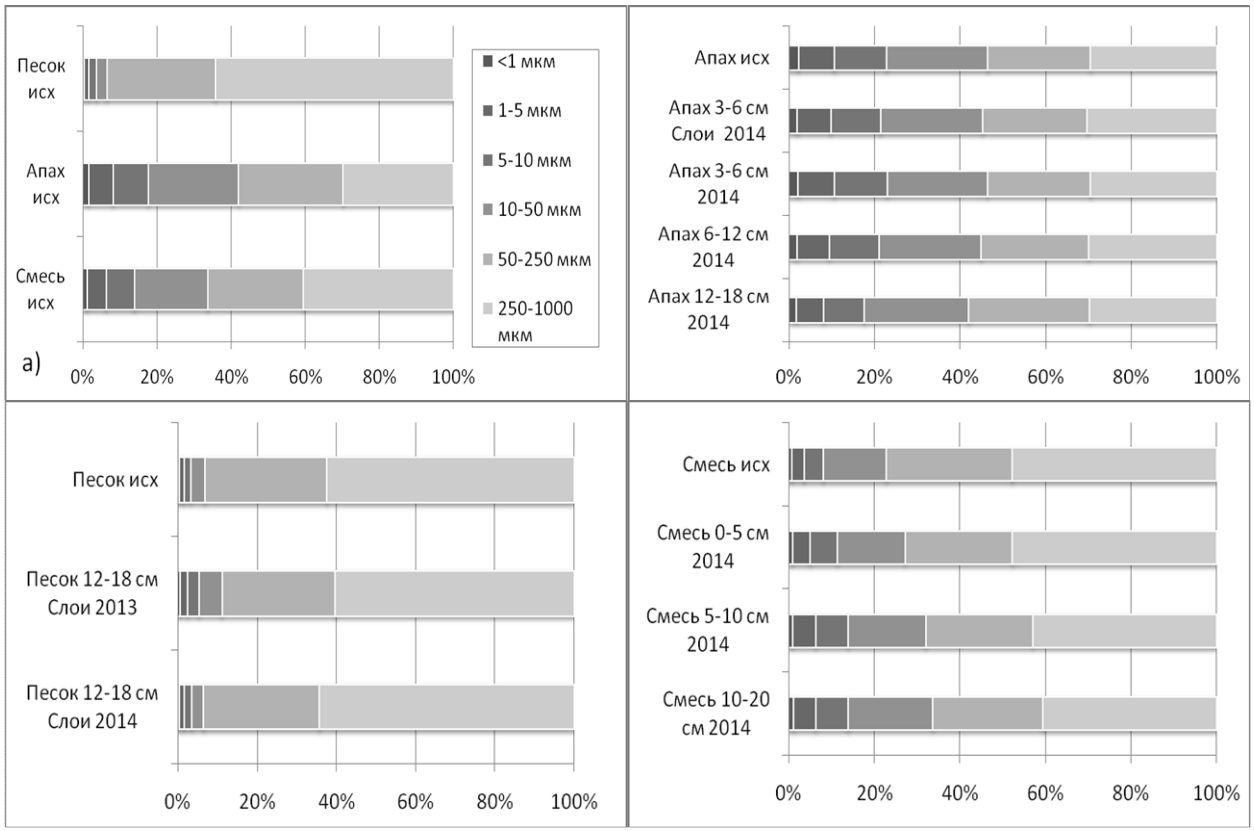


Рисунок 25. Диаграмма гранулометрического состава исследуемых образцов: а) исходные образцы; б) горизонт А пах (2014) в сравнении с исходным; в) песчаный в сравнении с исходным; г) смешанный в сравнении с исходным.

В конструкции «Смесь» произошло некоторое снижение илистой фракции в верхнем слое, что, вероятно, явилось следствием миграцией илистой фракции в весьма рыхлой и однородной массе конструктозема вниз по профилю. О транзитной миграции тонких фракций в первые годы функционирования почв, представляющих, по сути, насыпные варианты почв, свидетельствует гранулометрический состав песчаного слоя в составе слоистого конструктозема. В нем, через год наблюдений (2013) произошел заметный рост процентного содержания илистой фракции (с 0,69 до 1,02). Еще через год, его количество несколько снизилось. По-видимому, в первые годы в насыпных почвах преобладал т.н. фильтрационный тип перемещения почвенной влаги, который был подробно рассмотрен в модельных лабораторных экспериментах 2010-2011 гг. Можно предположить, что в первые годы трансформация твердой фазы имеет

высокие скорости, в дальнейшем будет происходить их замедление за счет дифференциации порового пространства почв.

Согласно работам Роде – изменение классификационных показателей почв дает право говорить о наличии эволюционных процессов. В целом, согласно градациям Качинского (Вадюнина, Корчагина, 1986) значимых изменений не произошло. Однако следует отметить некоторые важные моменты: с начала функционирования в слоистой конструкции произошло утяжеление слоя песка по содержанию физической глины в 2013 году, далее в 2014 году песок вернулся к исходным показателям. Образец Апах из исходного среднего суглинка перешел в состояние тяжелого суглинка. Эти изменения, вероятно, связаны с протеканием эллювиально-иллювиальных процессов в первые годы функционирования конструктозёмов. Справедливости ради, необходимо отметить, что изменения очень небольшие, и переход в другую градацию во многом связан с тем, что изначальное содержание физической глины соответствовало значению, очень близкому к классификационной границе гранулометрического состава по Качинскому.

С целью более детального исследования гранулометрического состава почв и их изменений были использованы различные показатели. Был рассчитан коэффициент однообразия *Cu* (табл. №3) (Шеин, 2005).

Таблица №3. Значения коэффициента однообразия Cu исследуемых конструктоземов

Почвенные образцы		2012	2013	2014
Апах	0-6 см	1,86	3,33	3,67
	6-12 см		3,00	2,75
	10-20 см		3,33	3,33
Слоистая	0-6 см Апах	1,86	2,33	3,00
	6-12 см Торф	-	-	-
	12-18 см Песок	2,93	3,16	2,95
	>18 см Апах	1,86	2,03	2,86

Смешанная	0-5 см	16,36	4,14	6,19
	5-10 см		7,00	14,40
	10-20см		23,90	23,50

В горизонте Апах как в составе конструктозема из данного горизонта, так и для слоистой площадки, наблюдается увеличение коэффициента однообразия, причем особенно значимо – в поверхностных горизонтах, что свидетельствует об росте разнообразия частиц по размерам. В смешанной конструкции, произошло снижение коэффициента однообразия в верхней части исследуемой толщи и увеличение в нижней, что свидетельствует о начальных процессах некоторой текстурной дифференциации данного конструктозема.

Был проведен расчет вероятностных функций по Березину (Березин, 1983; Березин и др., 1985) (табл. №4). Отметим, что под содержанием физической глины *Ф5* П.Н. Березин предложил определять содержание частиц с диаметром более 0,05 мкм. Параметр *к* характеризует дисперсность глинистых компонентов: чем больше значение этого параметра, тем более разнородны по диаметру глинистые частицы, т.е. в их составе есть как илистые, так и крупнопылеватые фракции (Березин, 1983). При этом если коэффициент *к* уменьшается, то это указывает на увеличение однородности глинистых компонентов с преобладанием тонких фракций. Параметр *n* характеризует отсортированность песчаных компонентов – наиболее устойчивых к разрушению компонентов гранулометрического состава. Наряду с показателем *α* (зернистость песчаных компонентов), параметр *n* отражает длительность и интенсивность разрушающих факторов.

Оказалось, что заметные изменения произошли лишь для следующих параметров: содержания физической глины *Ф5* и дисперсности глинистых компонентов *к*. В грунтовой конструкции не наблюдается значительных изменений этих показателей (табл. 4), почва остается мелко пылеватым легким суглинком по градации Березина, хотя и наблюдается некоторое увеличение глинистых компонентов.

Таблица №4. Значения вероятностных функций по Березину: содержание глинистых компонентов в % (Ф5), дисперсность глинистых компонентов (коэффициент к), зернистость песчаных компонентов (коэффициент α), отсортированность песчаных компонентов (коэффициент η)

Почвенные образцы		Содержание глинистых компонентов, %, Ф5		
		2012	2013	2014
Грунт (Апах)	0-5 см	21,88	32,31	28,30
	5-10 см		27,18	25,97
	10-20 см		30,57	28,86
Слоистая	0-5 см Апах	21,88	22,14	25,28
	12-18 см песок	1,98	3,23	1,83
	>18 см Апах	21,88	24,36	31,11
Смешанная	0-5 см	12,80	8,51	6,11
	5-10 см		17,08	8,62
	10-20см		17,31	12,81
Почвенные образцы		Дисперсность глинистых компонентов, к		
		2012	2013	2014
Грунт (Апах)	0-5 см	0,84	0,88	0,80
	5-10 см		0,87	0,85
	10-20 см		0,87	0,85
Слоистая	0-5 см Апах	0,84	0,88	0,88
	12-18 см песок	0,65	0,72	0,50
	>18 см Апах	0,84	0,84	0,85
Смешанная	0-5 см	0,91	0,87	0,86
	5-10 см		0,92	0,91
	10-20см		0,91	1,12
Почвенные образцы		Отсортированность песчаных компонентов, n		
		2012	2013	2014
Грунт (Апах)	0-5 см	1,5	1,2	1,2
	5-10 см		0,96	1,14
	10-20 см		1	1,14
Слоистая	0-5 см Апах	1,5	1	1,35
	12-18 см песок	1,2	1,2	1,14
	>18 см Апах	1,5	1,2	1,14
Смешанная	0-5 см	0,95	0,95	1
	5-10 см		0,94	1
	10-20см		0,96	0,98
Почвенные образцы		Зернистость песчаных компонентов, α, мкм		
		2012	2013	2014
Грунт (Апах)	0-5 см	13,5	11	13
	5-10 см		13	13
	10-20 см		12	13
Слоистая	0-5 см Апах	13,5	15	13
	12-18 см песок	310	300	268

	>18 см Апах	13,5	13	11
Смешанная	0-5 см	13,5	30	63
	5-10 см		50	75
	10-20см		45	70

Для слоистой конструкции можно отметить больший рост доли глинистых компонентов в нижней части исследуемой толщи, почва перешла по градации Березина из легкого суглинка в средний суглинок. В смешанной конструкции первоначально почва относилась к категории супесчаной, через два года функционирования профиль стал дифференцированным, изменяясь от песка на поверхности до легкого суглинка. Это согласуется с показателем однообразия (таблица 3). По показателю дисперсности глинистых компонентов все горизонты во все исследованные годы относятся к мелкопылеватой. Значения зернистости песчаных компонентов, а также их отсортированности практически не изменились.

На основании вышесказанного следует вывод, что гранулометрический состав в процессе 2–х летнего функционирования конструктоземов претерпел заметные изменения в результате происходящих процессов эллювиально-иллювиального характера. Данные изменения отразились как в содержании физической глины, так и в значениях вероятностных функций по Березину, а именно содержании и дисперсности глинистых компонентов.

5.3. Основные реологические показатели горизонтов конструктоземов и их изменение

Весьма чувствительными характеристиками трансформации твердой фазы почв являются реологические свойства (Шеин и др., 2001; Шеин, 2005). Были изучены основные **реологические показатели** почвенных конструкций, как исходных образцов, так и после функционирования в течение двух лет. На рисунке 26 представлены реологические кривые исходных горизонтов. По оси ординат откладывается напряжение сдвига (Па), а по оси абсцисс – частота вращения ($с^{-1}$). Отметим, что определения реологических кривых проводились для

почв после капиллярного увлажнения, т.е. к значениям влажности, близким к величине капиллярной влагоемкости (КВ).

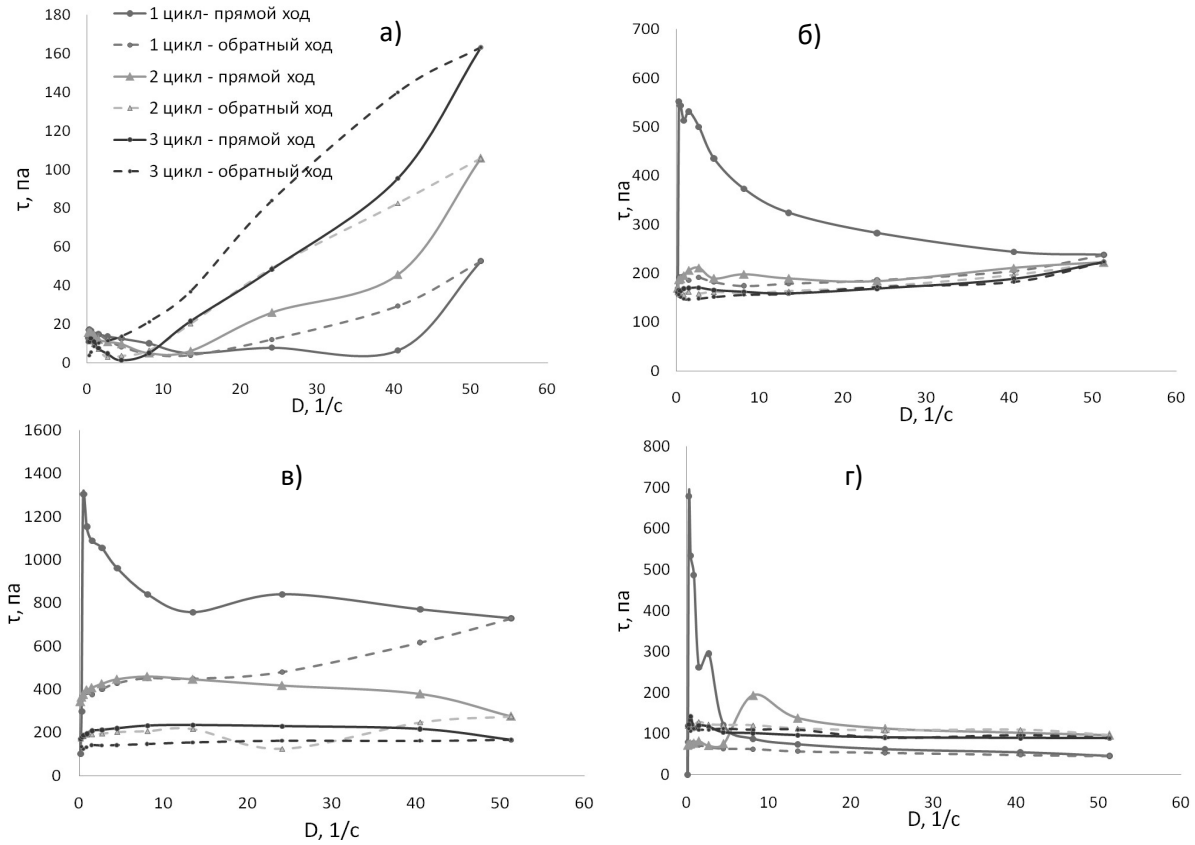


Рисунок 26. Основная реологическая кривая исходных образцов при t = 1 мин: а) – Апах; б) – торф; в) – смесь; г) – песок, где t время для характеристики деформации сдвига.

Было установлено, что в начале эксперимента реологические кривые горизонта Апах соответствовали форме, характерной жидкостям, а кривые торфа и песка в большей мере соответствовали твердым телам. Форма основной реологической кривой смешанной конструкции ближе всего к кривой торфа, несмотря на то, что количество песка и торфа были внесены в аналогичной пропорции. По-видимому, на реологическое поведение смеси в большей степени оказывает влияние именно торфяной компонент. Об этом же свидетельствуют и числовые значения напряжения сдвига: максимальные значение наблюдались в смеси (200-1300 Па), ниже в торфе (200-700 Па), песке (100-500 Па) и наименьшее

в горизонте Апах (5-150 Па). Причем, наименьшее влияние на реологическое поведение смеси оказывал горизонт Апах.

При гистерезисе первого и последующих циклов образца горизонта Апах обратная ветвь располагалась выше первоначальной ветви. При каждом последующем цикле напряжение сдвига (τ, Па) возрастало при одних и тех же скоростях сдвига. Стоит отметить также, что в горизонте Апах ветвь прямого хода сначала выше, а ветвь обратного хода ниже (рис. 26). Данная закономерность просматривалась во всех трех циклах. С каждым последующим циклом точка данного перегиба наблюдается при более низких скоростях. Такое поведение является классическим для пахотных горизонтов подзолистого ряда (Шеин, 2005).

По форме основная реологическая кривая исходного образца смеси близка к кривым торфа и песка, что объясняет сильное влияние торфа и песка на физические свойства при образовании смеси.

Были изучены реологические свойства почвенных конструкций спустя 2 года функционирования. Форма основной реологической кривой и поведение прямой и обратной ветви всех трех циклов образца горизонта Апах схожи с поведением исходного образца (рис. 26-а и рис. 27).

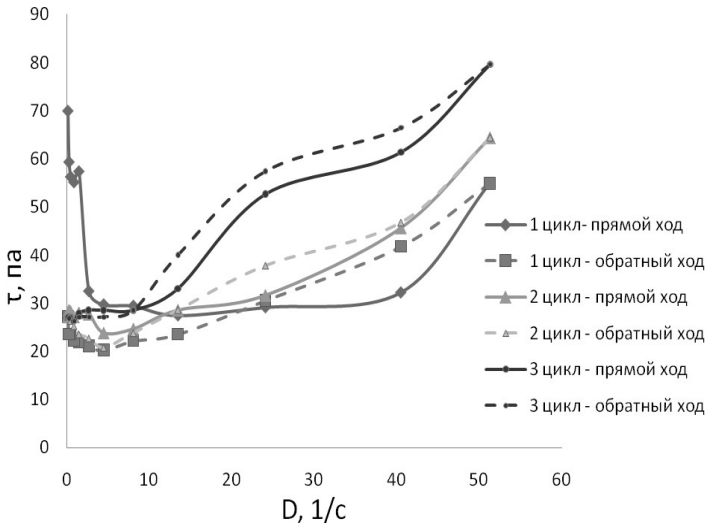


Рисунок 27. Основная реологическая кривая горизонта Апах через 2 года после функционирования.

Но стоит отметить, что в данном случае значения напряжения сдвига в несколько раз ниже исходного образца, что свидетельствует о том, что после

функционирования структура стала менее связанная, более разрушенная, дисперсная, что согласуется с данными по гранулометрическому составу почв. При внимательном рассмотрении участка основной реологической кривой данного образца с малыми скоростями сдвига, можно отметить закономерность аналогичную исходному образцу. Но пересечение прямой и обратной ветвей циклов в данном образце происходит при скоростях в 2 раза больших. Вязкость образца Апах 0-5см резко падает в первом цикле, а дальше, как и в исходном принимает постоянное значение. Стоит отметить тот факт, что вид зависимости вязкости от скорости сдвига у данного образца обратная ветвь 1 цикла, и полностью 2 и 3 циклы совпадают. По значениям вязкость данного образца в несколько раз выше исходного Апах.

По форме основная реологическая кривая смеси (0-5см) после функционирования наиболее близка к основной реологической кривой торфа (характерна для твердого тела) (рис. 26-б и рис. 28).

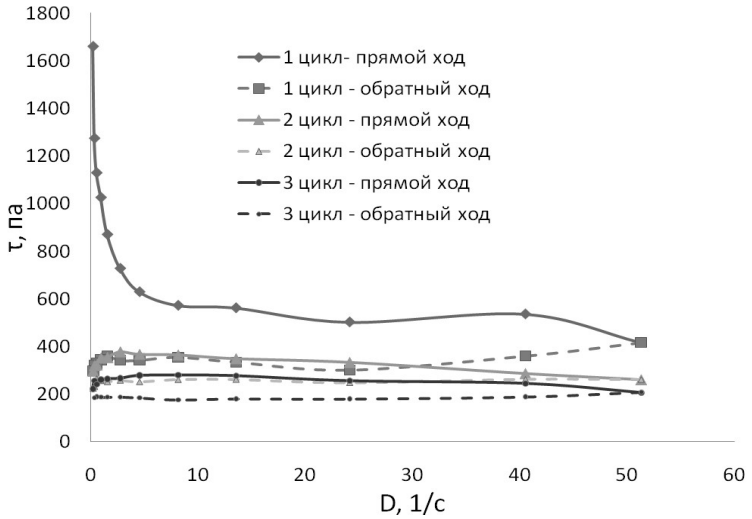


Рисунок 28. Основная реологическая кривая конструкции смеси (через 2 года).

Но значение напряжения сдвига в первом цикле гораздо выше, чем у торфа, что свидетельствует о том, что смесь наиболее прочна по своей структуре.

Проведенное сравнение основной реологической кривой торфа исходного образца и слоя торфа (6-9 см) слоистой конструкции после первоначального периода функционирования показали изменения реологических свойств (рис. 26-б и рис. 29)

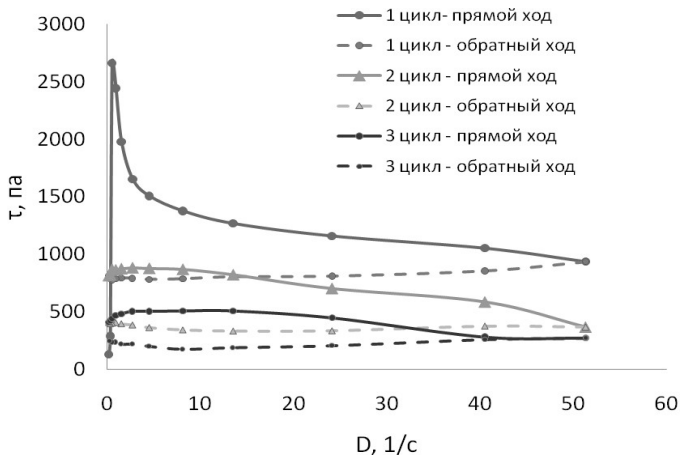


Рисунок 29. Основная реологическая кривая слоя торфа слоистой конструкции (через 2 года).

Увеличилась сдвиговая прочность торфа после двухлетнего функционирования, также в несколько раз увеличилась и вязкость, но формы кривых остались те же.

Наименьшие изменения основной реологической кривой проявились у образца исходного песка в сравнении со слоем песка слоистой конструкции спустя два года функционирования (рис. 26-г и рис. 1 (Приложение В)).

Таким образом, на основании проведенных реологических исследований установлено, что конструктозем, состоящий из горизонта Апах после двухлетнего периода функционирования приобрел более дисперсную, разрушенную структуру. Снизилась его микроагрегированность. Основная реологическая кривая конструктозема смеси после функционирования стала близка к основной реологической кривой торфа, но при этом напряжение сдвига говорит о более прочной структуре, нежели у торфа, а вязкость конструктозёма смеси близка вязкости Апах.

Таким образом, реологические свойства исследованных почвенных горизонтов свидетельствуют об изменениях в микроструктуренности почв через два года после помещения их в составе почвенных конструктоземов: снижается микроструктуренность в поверхностном горизонте конструктозема Апах, и растет в поверхностном горизонте смеси.

5.4. Исследования микроструктуренности почв с помощью визуальных методов

Исследования микроструктуренности почв были продолжены с использованием визуальных методов. Одним из них явилась **электронная сканирующая микроскопия**, которая отражает картину пространственной организации твердой фазы почв, а значит, показывает и структуру порового пространства почв. Съемка проводилась в пяти повторностях на исходных образцах конструктоземов (2012) и образцах, отобранных через год функционирования. Одновременно проводился анализ элементного состава образцов.

На фотографиях отчетливо заметно, что исходные образцы горизонта Апах представлены наиболее крупными частицами, чем в 2013 г. (рис. 30).

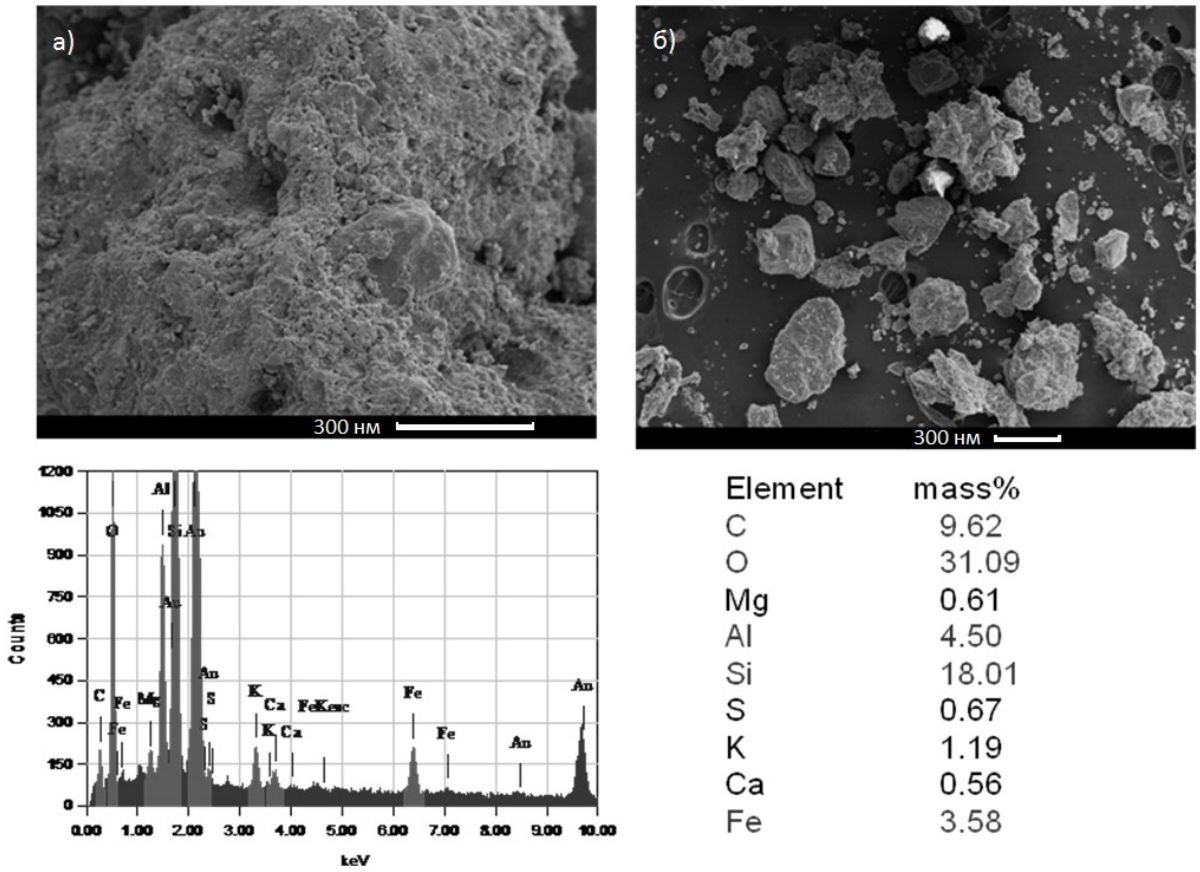


Рисунок 30. Данные электронной сканирующей микроскопии Апах исходного образца (а) и через год функционирования (б), элементный состав почвы

Частицы имеют различную форму, они стали существенно более мелкими при сравнении фотографий одного масштаба. Это согласуется с данными по реологическому поведению данного горизонта и снижению микроструктуренности через год после функционирования. Если рассматривать результаты элементного состава, то наибольшее место отведено кислороду, углероду, алюминию и кремнию, что и составляет основу исследуемого образца горизонта Апах. Высокое содержание углерода по данным микроскопии, значительно превышающее данные углеродного анализа почвенных образцов (таблица 2) свидетельствуют о том, что большая часть углерода входит в состав пленок, покрывающих поверхности минеральных зерен в данном горизонте.

Весьма интересно проявил себя слой песка в слоистой конструкции. Рассмотрим произошедшие визуальные изменения, представленные на рисунке 31.

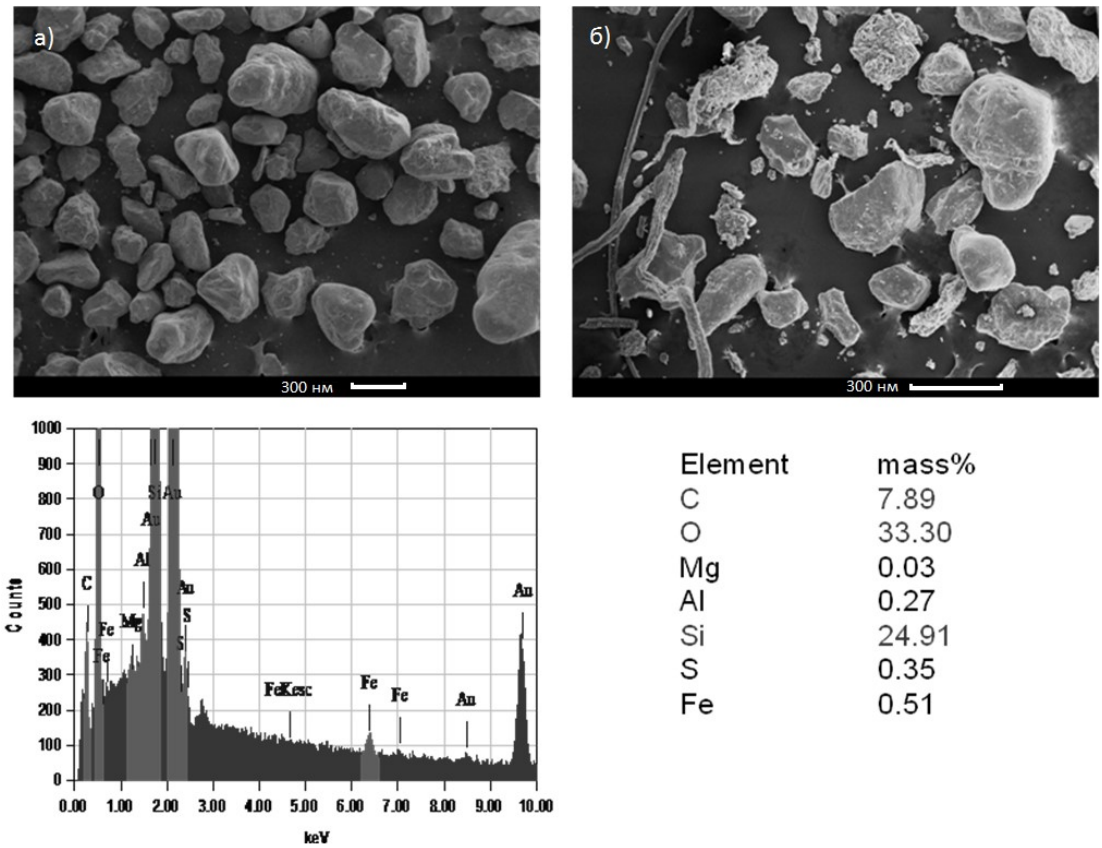


Рисунок 31. Данные электронной сканирующей микроскопии песка исходного образца (а) и через год функционирования (б) в слоистом конструктоземе под слоем торфа.

Как уже отмечалось ранее в предыдущих исследованиях, слой песка в процессе функционирования слоистого конструктозёма претерпел изменения: в период с 2012 по 2013 год произошло увеличение содержания физической глины в слое песка чуть более чем в полтора раза (с 1,98 до 3,23) (таблица №4).

Однако в следующий год значение вернулось к первоначальному уровню. Это было отмечено и при изучении дифференциальных кривых гранулометрического состава, а также при исследовании гранулометрического состава статистическими методами по Березину. При исследовании с помощью сканирующего микроскопа среди частиц песка видны мелкие частицы органики. Это подтверждает построенное предположение о том, что сквозь слой песка перемещались частички нерастворимого органического вещества в составе тонких фракций из слоя торфа вниз по профилю с потоками влаги и в результате деятельности почвенной фауны. При этом часть органического вещества задерживалось среди частиц песка, что отчетливо видно на снимках электронной микроскопии в 2013 году.

Таким образом, песчаный образец, находящийся в слоистой конструкции, уже через год функционирования приобрел мельчайшие фрагменты из слоя торфа, который находился выше. Данная закономерность прослеживалась во всех повторностях исследуемых образцов. Результаты элементного состава показывают закономерно высокие показания кремния, кислорода, что соответствует песчаному слою исследуемого образца. Однако содержание углерода имеет очень высокие значения, хотя в массовом отношении он составил всего 0,65 %, что обусловлено появление органических пленок на поверхности песчаных зерен и вхождением в состав фрагментов торфа, имеющего очень низкие значения плотности твердой фазы (таблица 3), не повлиявшие существенно на процентное содержание углерода от массы образца.

В свою очередь, торфяной слой, располагающийся под слоем гор. Апах и подстилаемый слоем песка и, приобрел через год функционирования фрагменты горизонта Апах (рис. 32). Это отчетливо представлено на снимках сканирующего

микроскопа. В элементном составе закономерно продолжает доминировать углерод.

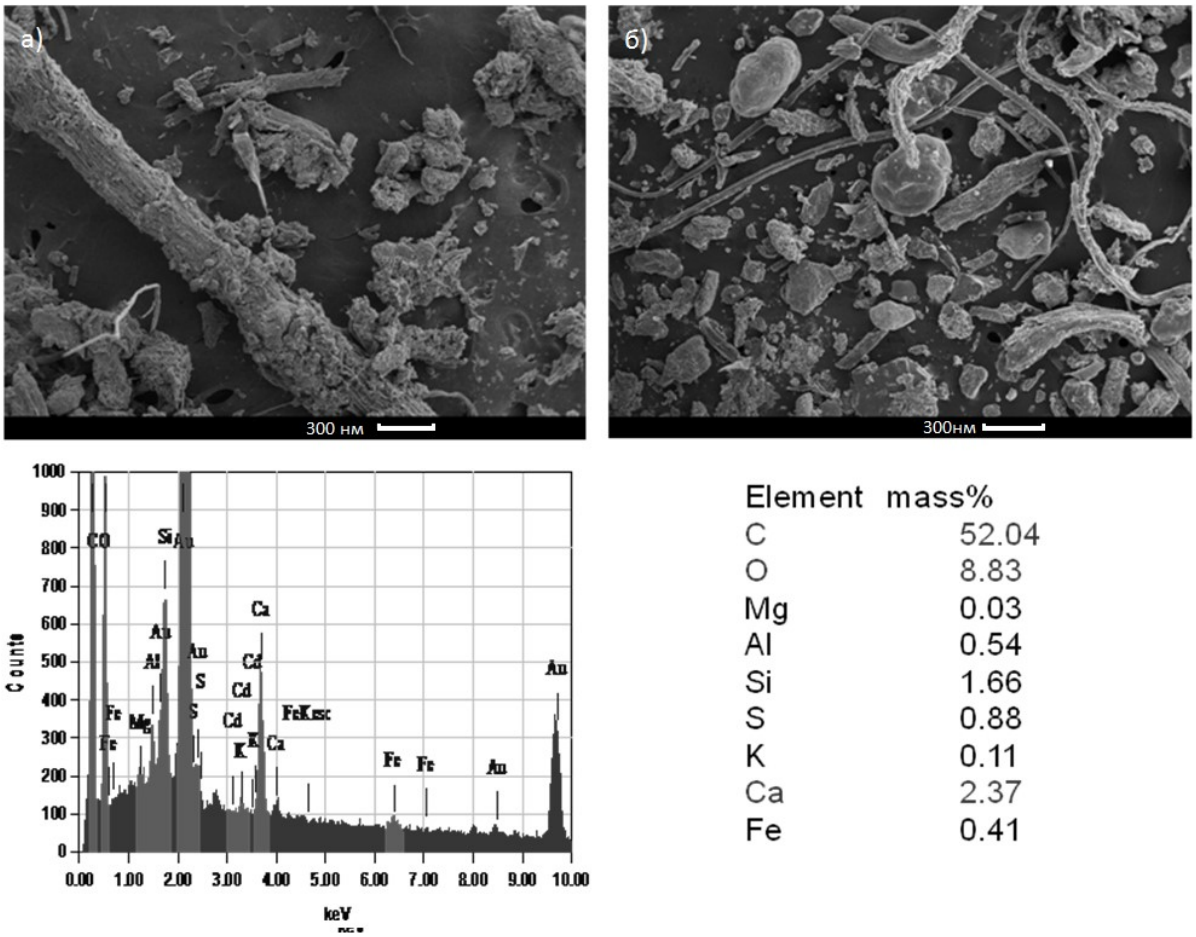


Рисунок 32. Данные электронной сканирующей микроскопии слоя торфа исходного образца (а) и через год функционирования (б) в слоистом конструктозёме под слоем Апах.

Также, интересными и показательными оказались сравнительные изображения образца смешанного конструктозёма в исходном состоянии и через год функционирования (рис. 33). Исходный смешанный образец отчетливо показывает различные его отдельные составляющие, не находящиеся в связи друг с другом: фрагменты торфа, песка и горизонта Апах (рис. 32-а).

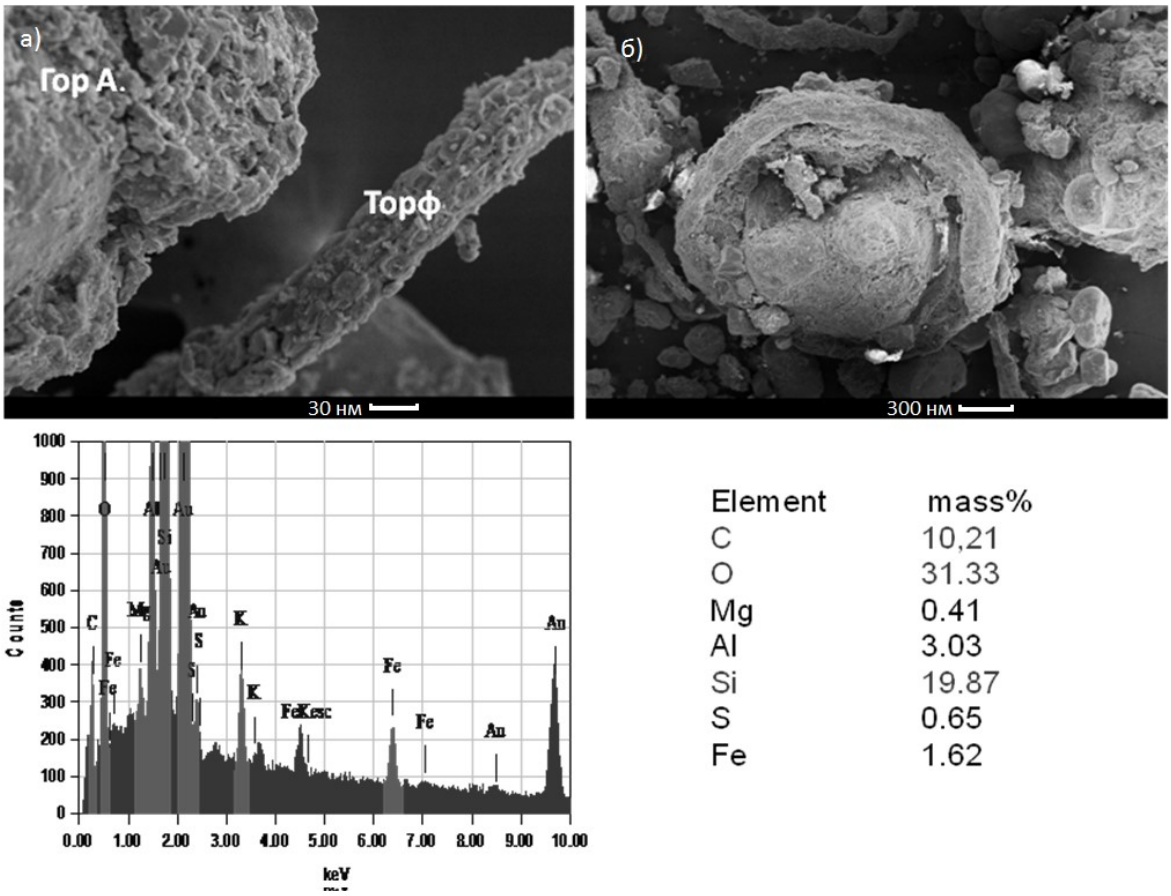


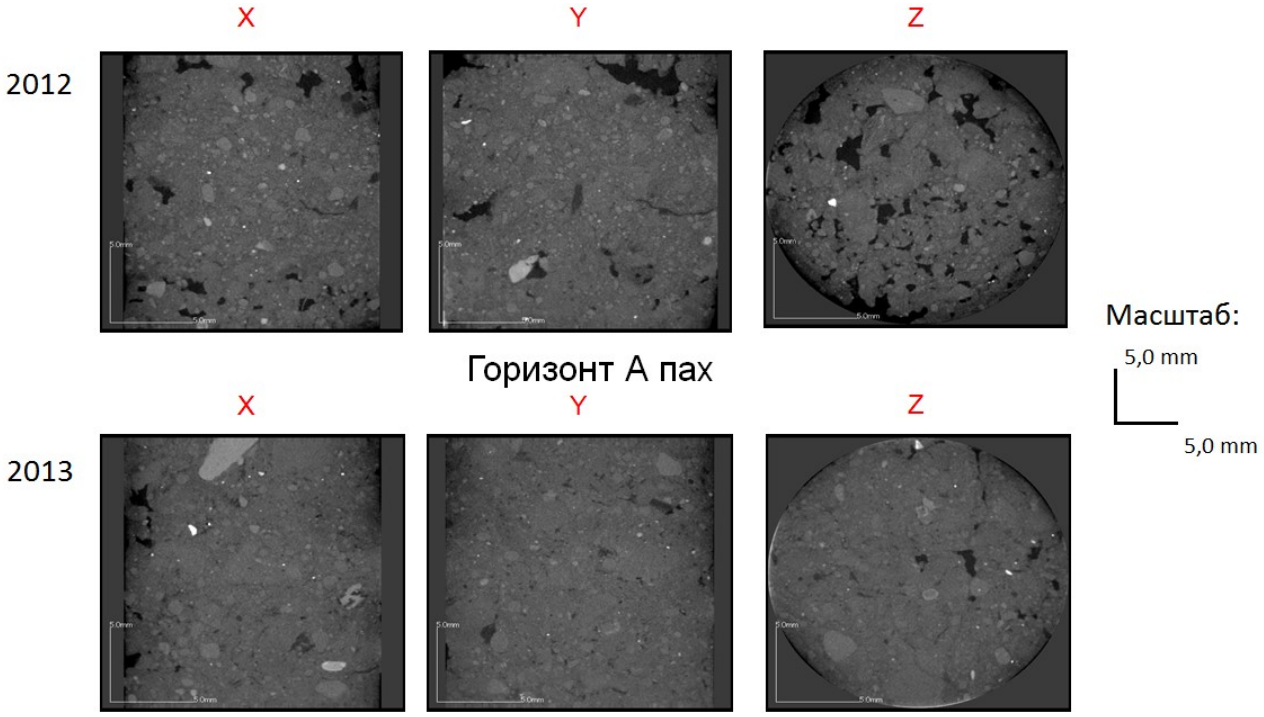
Рисунок 33. Результаты исследования смешанного конструктозёма исходного образца (а) и через год функционирования (б).

В смеси через год крупные фракции торфа не выделяются, они являются гораздо более измельченными. Почвенные агрегаты горизонта Апах, входящего в состав данного конструктозема, также утратили крупные агрегаты. Через год повсеместно в смешанной конструкции встречаются структуры, представленные на фотографии сверху справа. Вероятно это продукты жизнедеятельности живых организмов, которые в процессе функционирования освоили для жизни собранные конструкции.

Другим визуальным способом исследования твердой фазы почв стала **рентгеновская компьютерная микротомография**. Рентгеновская компьютерная микротомография (μКТ) позволяет визуализировать трехмерную внутреннюю структуру объекта, не нарушая его целостности (изучались монолиты). В качестве аппаратной базы использовался рентгеновский компьютерный микротомограф Yamato TDM-1000 (Япония). Съемка проводилась в трех взаимно

перпендикулярных проекциях (X,Y,Z). На данных слайдах структуры, обладающие большей плотностью, изображены светлым тоном, а более рыхлые структуры, менее плотные окрашены в более темную окраску. В качестве образцов послужили монолиты почв, отобранные в исходной почве при укладке конструктоземов, и через год после их функционирования. Размер монолитов составил 4,5х5 см, они имеют цилиндрическую форму. Данные монолиты отбирались для определения плотности почв, в лаборатории они были установлены на тензиостаты для определения основной гидрофизической характеристики. И их влажность была доведена до значения влажности разрыва капилляров (ВРК), поэтому поровое пространство почв характеризуется именно этим состоянием почв для всех горизонтов, исследованных методом томографии. На фотографии приведены поперечные срезы монолитов.

Было обнаружено, что исходный горизонт Апах является более рыхлым, в нем можно увидеть большее количество пустот (рис. 34), он не имел начальной целостной архитектуры и представлял собой насыпную почву.



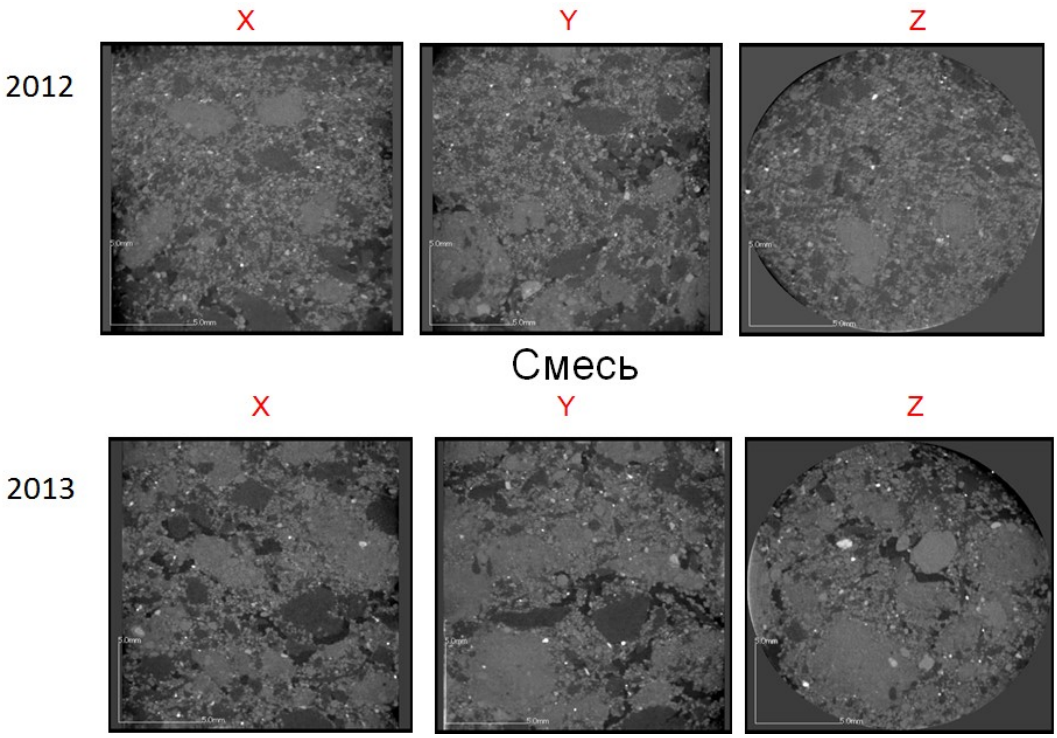


Рисунок 34. Томографические срезы почвенных монолитов: а) Апах исходного образца (2012) и через год функционирования (2013) б) смешанного конструктозема исходного образца (2012) и через год функционирования (2013)

Но уже полтора года функционирования можно отметить, что пустот стало значительно меньше, горизонт несколько уплотнился, что отразилось и на значении плотности почвы, которая увеличилась с 1,2 до 1,34 г/см^3 в среднем слое, откуда он был отобран (табл. №2). Снижение его микроагрегированности по результатам 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.

Несколько иная картина наблюдается в случае со смешанным образцом (рис. 34). В начале эксперимента данный вариант почвенной конструкции имел абсолютно хаотичное расположение отдельных фрагментов с диффузным строением порового пространства. Через год функционирования конструктозем данного горизонта выглядит более агрегированным с отчетливо выделяемыми

порами и полостями. Хотя значительная часть продолжает быть несколько диффузной.

Таким образом, в обеих почвенных конструкциях отмечается появление и увеличение дифференцированности порового пространства, формирование влагопроводящих путей.

5.5. Изменения основной гидрофизической характеристики (ОГХ)

Указанные изменения должны были отразиться на функциональной характеристике порового пространства почв. Для этого была определена и проанализирована основная гидрофизическая характеристика (ОГХ) почвенных горизонтов исследуемых конструкций (рис. 35), а также проведены секущие Воронина для расчета почвенно-гидрологических констант и определения категорий почвенной влаги.

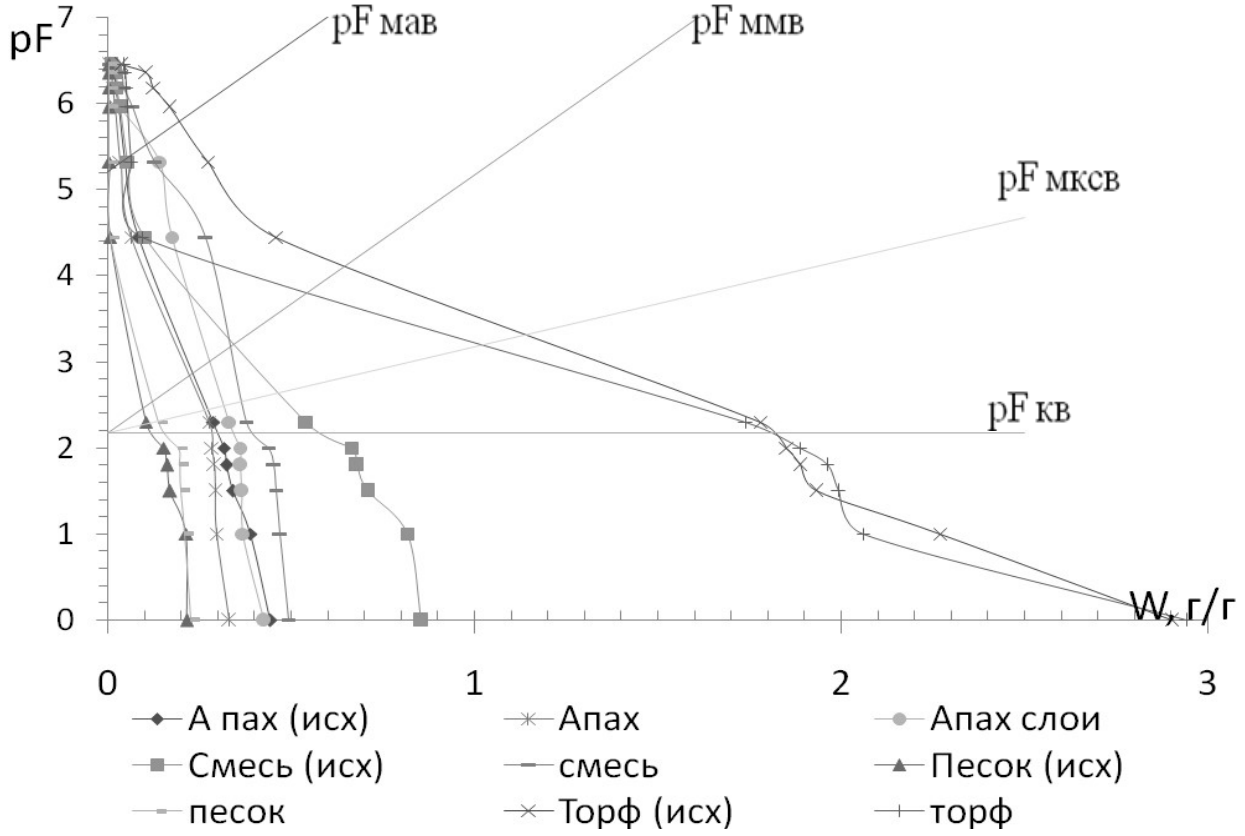


Рисунок 35. Основная гидрофизическая характеристика (ОГХ) почвенных конструкций.

Исходные почвенные образцы заметно отличались по форме и расположению ОГХ. Также, как и на этапе 2011 года в лабораторных экспериментах по исследованию влагопроводящих и влагоудерживающих свойств отдельных насыпных вариантах почвенных горизонтов и конструкций, было обнаружено, что торфяной слой закономерно обладает высокой водоудерживающей способностью. Песок также закономерно занимает крайнее левое положение на графиках, что свидетельствует о том, что он плохо удерживает влагу.

После 2-х лет функционирования было обнаружено, что монолиты торфяного слоя в составе слоистой конструкции имеют значительно меньшую влагоудержмвающую способность по сравнению с исходным. Это согласуется с данными о микроморфологической съемки, в его составе визуально выделяются песчаные фракции.

Интересно отметить, что смешанная конструкция имеет более высокую водоудерживающую способность по отношению к другим, несмотря на то, что количество внесенного песка соизмеримо с количеством торфа. Однако именно торф оказал сильное влияние на кривую ОГХ данного варианта. Именно такой же результат был получен при исследовании реологического поведения смеси: форма реологических кривых оказалась близкой кривым торфа.

Горизонт Апах претерпел лишь незначительные изменения как в составе конструкции состоящей только из этого горизонта, так и в составе слоистой конструкции. Наблюдается смещение нижней части кривой ОГХ, что свидетельствует о снижении объема гравитационных пор. Это согласуется с визуальной картиной архитектуры почвы данного варианта по результатам томографической съемки, показавшего более плотную упаковку мелких агрегатов.

На основании секущих Воронина (Воронин, 1986) были определены значения почвенно-гидрологических констант (табл. №5).

Таблица №5. Основные почвенно-гидрологические константы, полученные с помощью метода «секущих» по А.Д. Воронину.

	ПВ, %	КВ, %	НВ, %	ВРК, %	ВЗ, %	МАВ, %
Апах (исх)	43,5	30	28	24	10	5
Апах	36,6	28	27,5	23	7	3
Апах слои	44,5	34	32	28	18	12
Смесь (исх)	63,1	57	46	34	15	5
Смесь	42,7	38	37	33,5	28	11
Песок (исх)	22,7	12	10	9	3	0,2
Песок	19,1	15	13	11,5	3,5	0,2
Торф (исх)	222,6	182	114	65	59	19
Торф	201,1	182	104	55	25	6

Перед обсуждением значений почвенно-гидрологических констант обратим внимание на то, что в таблице 5 они представлены в величинах массовых значений влажности.

Полная влагоемкость (ПВ) характеризует наибольшее количество влаги в почве, которое может содержаться при заполнении всех пор водой. Полная влагоемкость почвы численно равна общей пористости. Однако, в зависимости от гранулометрического состава почв и содержания органического вещества, это соответствие нередко нарушается, особенно в глинистых и органических почвах (на примере торфа). Песок имеет самые низкие значения полной влагоемкости, что закономерно связано с отсутствием агрегатной порозности. Дополнительно стоит отметить сильное влияние торфа на увеличение величины ПВ в конструктоземе на основе смеси. Конструктоземы из Апах и смеси, а также слои торфа и песка в слоистой конструкции уменьшили свои значения ПВ к исходным, что говорит об уменьшении их водовместимости. Полная влагоемкость слоя Апах в слоистой конструкции наоборот незначительно увеличилась. Можно говорить о снижении общей порозности во всех образца, за исключением слоя Апах в

слоистой конструкции, что говорит о происходящих процессах дифференциации порового пространства относительно исходных.

Влажность завядания (ВЗ) характеризует нижний предел доступной для растений влаги, при данных значениях влажности растения начинают проявлять признаки завядания. В песчаных почвах она всегда ниже. Исходный образец песка имеет ВЗ порядка 3 %, в то время как исходный Апах 10%. Отметим, что по сравнению с исходным образцом, горизонт Апах в слоистой конструкции увеличил значение влажности завядания на 8%. Увеличение влажности завядания говорит, прежде всего, об изменения доступности влаги, вероятно за счет влияния подстилающего торфяного слоя. (табл. №4). В конструктоземе из чистого горизонта Апах произошло небольшое снижение на 3% от исходного значения.

Влажность разрыва капиллярных связей (ВРК) характеризует нижний предел оптимальной для растений влажности, при котором нарушается сплошность потока влаги по капиллярам и ее непрерывное поступление к корням растений. Установлено, что в горизонте Апах слоистой конструкции произошло некоторое возрастание и значения ВРК по сравнению с исходным (28% против 24%). В тоже время, например, конструктозем смеси в процессе функционирования практически не изменил свои значения. Результатом этого является некоторое увеличение требовательности к водному питанию со стороны произрастающих растений в слое Апах слоистой конструкции.

Наименьшая влагоемкость (НВ) является одной из наиболее важных характеристик водного режима почв, она показывает то наибольшее количество воды, которое почва способна накопить и удерживать длительное время. По результатам исследований было установлено, что конструктозём целиком из Апах в целом не претерпел изменений, в то время как слой Апах в слоистой конструкции увеличил (с 28 до 32%) возможности накопления и удержания влаги, а конструктозем из смеси значительно уменьшил (с 46 до 37%).

На основании полученных с помощью ОГХ почвенно-гидрологических констант были рассчитаны с диапазоны гравитационной, продуктивной, а также легкоподвижной влаги (табл. №6).

Таблица №6. Рассчитанные диапазоны гравитационной, продуктивной и легкоподвижной влаги для исследуемых конструктоземов.

	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

Диапазон гравитационной влаги соответствует влаги, которая заполняет крупные поры и легко передвигается под действием гравитационных сил. При максимальном содержании данная форма влаги соответствует полной влагоемкости (ПВ). Разница между общей порозностью и объемной влажностью называется порозностью аэрации или воздухоносная порозность (Шеин, 2005). Это очень важная для роста и развития растений величина, оптимальная величина которой гарантируется структурой и агрегатным составом. Величина порозности аэрации является динамической величиной и связана с влажностью.

Определение ОГХ позволило оценить изменение диапазона гравитационной влаги в исследуемых образцах, представляющий по сути ее воздухоемкость при НВ. Конструктозём, состоящий целиком из Апах сузил данный диапазон с 13,5% до 8,6%, а он же в составе в слоистой конструкции - в меньшей степени, что составило 10,5%, против первоначальных 13,5% (табл. 6).

Конструктозём из смеси в процессе функционирования также уменьшил диапазон гравитационной влаги по отношению к исходному образцу (с 6,1% до

4,7%). Аналогичные изменения произошли также со слоями торфа и песка слоистого конструктозема по отношению к исходным образцам.

Также с помощью секущих Воронина был определен диапазон доступной или продуктивной влаги, указывающий на количество доступной для растений влаги. Изменения данного диапазона в исследуемыех конструктозёмах были разнонаправлены. В случае с конструктозёмом из Апах ширина диапазона продуктивной влаги незначительно увеличилась по отношению к исходному образцу с 18% до 20,5%. А в случае со слоем Апах в слоистом конструктоземе ширина диапазона продуктивной влаги уменьшилась с первоначальных 18% до 14%.

Образец конструктозёма из смеси весьма значительно сузил ширину диапазона продуктивной влаги с 31% до 9%. В то время как слои песка и торфа в слоистом конструктозёме наоборот, расширили ширину диапазона продуктивной влаги.

Диапазон НВ-ВРК характеризует ту часть продуктивной влаги, которая легко подвижна и легкодоступна для растений. Исследуемые конструктозёмы в период функционирования 2012-2014 года по-разному изменились к данному диапазону. Например, по отношению к исходному, практически не изменилась ширина диапазона НВ-ВРК конструктозёма, как состоящего целиком из Апах, так и в слоистой конструкции. Для смеси изменился диапазон легкодоступной влаги по отношению к исходному образцу: с 12 для до 3,5 – к 2014 году.

Слой песка в слоистой конструкции закономерно практически не изменил ширину диапазона легкодоступной влаги. А торфяный горизонт, несмотря на снижение абсолютных значений почвенно-гидрологических констант, сохранил значения данного диапазона.

Таким образом, исследования гидрофизических параметров почв и их трансформации через два года функционирования конструктоземов обнаружили заметные трансформации, как форм кривых ОГХ и величин почвенно-гидрологических констант, так и диапазонов категорий почвенной влаги, особенно в варианте смеси, что является следствием увеличения

дифференцированности порового пространства, изменения микроструктуренности твердой фазы почвы.

5.6. Динамика биомассы газонных трав на конструктоземах разного строения

Очень большое значение при исследовании успешности той или иной почвенной конструкции имеют показатели продуктивности. Летом 2012, 2013 и 2014 года были проведены **исследования динамики биомассы** газонных трав.

За время проведения полевых этапов исследования были изучены метеорологические данные, предоставленные ФГБУ «ВНИИГМИ-МЦД». Были рассмотрены массивы данных по месячной сумме осадков (Булыгина и др.), а также среднемесячной температуре воздуха (Булыгина и др.). На основе предоставленных данных установлено, что в исследуемые периоды с мая по сентябрь практически не наблюдалось аномальных температурных показателей и нехарактерных для этого периода количества осадков. Разброс значений среднемесячных температур за период с мая по сентябрь находился в пределах региональной нормы. Следует отметить, что наиболее теплый период с мая по сентябрь по среднемесячной температуре принадлежит 2011 году (табл. №7). Наиболее теплый месяц за все время наблюдений был июль, что также является климатической нормой.

*Таблица №7. Данные среднемесячной температуры воздуха в г. Москве, ^{o}C **

	Май	*Июнь*	*Июль*	*Август*	*Сентябрь*	*Суммарно*
2011	14,6	19,0	23,4	18,7	12,1	87,8
2012	15,1	17,1	20,9	17,7	12,9	83,7
2013	16,9	19,8	18,9	18,3	10,3	84,2
2014	16,0	16,1	21,1	19,2	12,3	84,7

** по данным сайта http://meteo.ru (Булыгина и др.)*

По результатам исследования месячной суммы осадков, выделяется уже описанный ранее в литературном обзоре (Глава 1.4.4) эффект выпадения различной суммы осадков в исследуемом временном промежутке. Наиболее

увлажненным стал период с мая по сентябрь в 2013 году (520,5 мм осадков суммарно), а наиболее засушливым (267,7 мм) аналогичный период 2014 года, а также близкий к нему 2011 год (табл. №8). Наблюдаемое непостоянство осадков из месяца в месяц отражается возникновением засухи (июль 2014 года), и наоборот возможным переувлажнением (июль 2013 года.)

*Таблица №8. Данные месячной суммы осадков в г. Москве, мм **

	Май	*Июнь*	*Июль*	*Август*	*Сентябрь*	*Суммарно*
2011	24,9	38,4	70,7	61,5	74,9	270,4
2012	53,7	91,4	52,2	85,0	46,8	329,1
2013	92,4	49,1	117,9	77,7	183,4	520,5
2014	70,2	73,8	4,0	82,1	37,6	267,7

** по данным сайта http://meteo.ru (Булыгина и др.)*

На основании представленных данных, следует отметить, что наблюдаемое относительное постоянство среднемесячных температур с 2011 по 2014 гг. сопровождалось непостоянством осадков в указанные периоды наблюдений.

Укосы проводились дважды в месяц. Намечена общая закономерность в развитии биомассы газонных трав. В 2012, как и в 2013 годах, высокий прирост биомассы наблюдается на площадках из слоистых конструкций (рис. 36). Именно слоистые конструкции показали наибольшие значения биомассы (рис. 36). Отметим, что при анализе биомассы, полученных в предыдущем полевом эксперименте с использованием горизонта В, смешенные почвенные конструкции имели большие значения прироста газонных трав по сравнению со слоистыми. Замена минерального горизонта гумусовым привела к увеличению продуктивности дифференированных конструктоземов. Вероятно, это связано в первую очередь с возрастанием плодородия горизонта В при обогащении его низинным торфом.

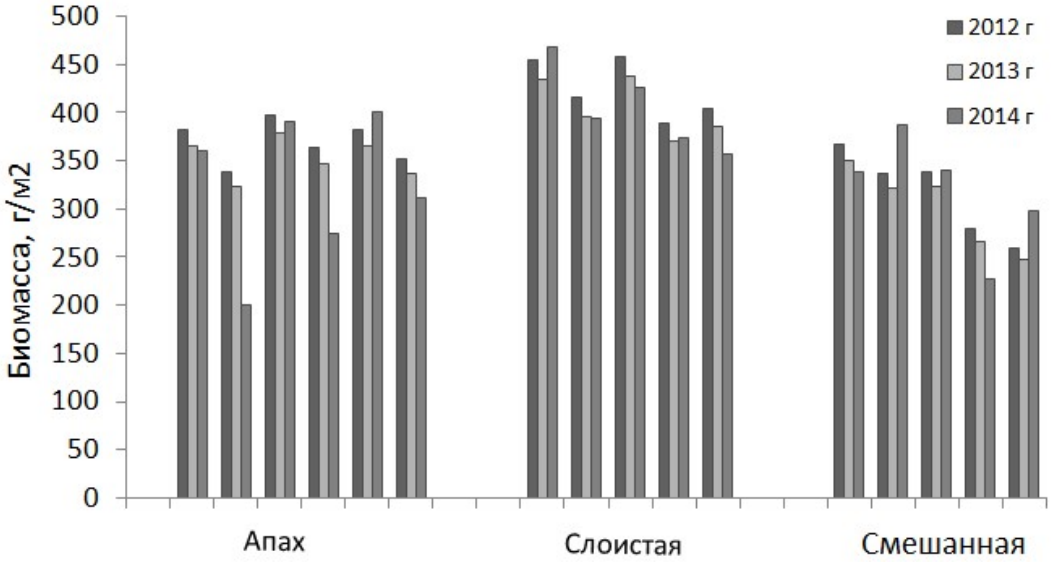


Рисунок 36. Значения биомассы газонных трав в период с 2012 по 2014 гг.

В подобных условиях в 2012 году смешанная конструкция показала чуть меньшие значения прироста биомассы, на 15% ниже, чем самая продуктивная слоистая конструкция. Подобная ситуация сохранилась для всех конструктозёмов и в 2013 году. Наибольшие значения биомассы обнаружены для конструктозёмов слоистого типа, меньшие, но близкими по показателям оказались конструктозёмы из гомогенизированного горизонта Апах. Показатели биомассы конструктозема из смеси снижены больше остальных.

В 2014 году продуктивность конструкции из гомогенизированного горизонта Апах снизилась примерно на 6%, в то время как слоистый конструктозём сохранил прошлогодние показатели.

Была проведена статистическая обработка полученных данных (рис. 37).

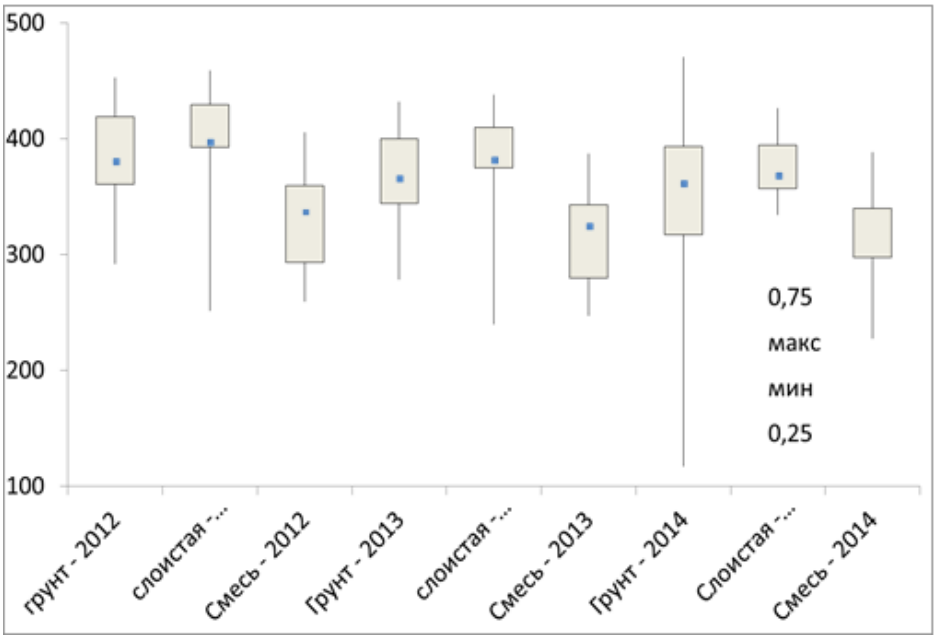


Рисунок 37. Результаты статистической обработки сухой биомассы площадок Апах, слоистой и смешанной в динамике с 2012 по 2014 г.г.

Расчет медианных значений и квартилей показало, что наибольшие медианные значения биомассы в первые два года исследований выше в слоистых конструкциях, чуть ниже в конструкции из гомогенизированного горизонта Апах, и наименьшие медианные значения принадлежат конструкции из смеси.

Причем, следует отметить, что между вариантами конструктозёмов слоистый и смесь разница значений биомассы статистически значимая. Обращает так же внимание больший 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%.

Таким образом, эксперименты 2012-2014 гг. полностью согласуются с первым лабораторным этапом экспериментов по исследованию водоудерживания конструктоземов, где было показано, что именно слоистые конструкции обладали наиболее стабильными запасами почвенной влаги при ее поступлении и дальнейшем иссушении.

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 дифференцированость 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 сдвигая прочность и вязкость торфа увеличились при неизменности форм реологических кривых. Пахотный горизонт после 2-летнего функционирования стал более дисперсным, а смесь, наоборот, повысила свою микроструктуренность. 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, визуально 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 ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Абакумов Е.В., Гагарина Э.И. Рекультивация земель в посттехногенных ландшафтах и физические свойства отвальных грунтов. // Труды Всероссийской конференции «Фундаментальные физические исследования в почвоведении и мелиорации». Москва, 2003, с. 262-264.

2. Абросимов К.Н., Белобров В.П. Загрязнение почв города Королев подвижными формами тяжелых металлов // Вестник Московского городского педагогического университета. Серия: Естественные науки. 2009. № 1. С. 28-35.

3. Айдаров И.П. Регулирование водно-солевого и питательных режимов орошаемого земледелия. М.: Агропромиздат, 1985. 304 с.

4. Андроханов В.А., Овсянникова С.В., Курачев В.М. Техноземы: свойства, режимы, функционирование/Новосибирск: Наука, Сибирская издательская фирма РАН. -2000. - 200 с.

5. Антипов-Каратаев И.Н., Цурюпа И.Г. О формах и условиях миграции веществ в почвенном профиле (Обзор иностранной литературы) // Почвоведение. 1961. № 8. С. 1–12.

6. Аржанова В.С. Миграция микроэлементов в почвах в условиях техногенного ландшафта. (По данным лизиметрических исследований). // Почвоведение. №4, 1977.

7. Афонина М. И. Основы городского озеленения// Учебное пособие/ Московский государственный строительный университет, ЭБС АСВ, 2010, 207 с.

8. Багаева Н.В., Лавренкин Ю.А. Российские вертикальные лечебные сады и аптекарские огороды// Строительная орбита, 2011, №3, с. 128-129.

9. Безуглова О.С., Горбов С.Н., Горовцов А.В., Карпушова А.В., Полякова А.В., Романюта Е.В. Агрохимические и микробиологические свойства конструктоземов гольф поля «Дон» и их влияние на состояние газона // Проблемы агрохимии и экологии.-№4.- 2012. С. 14—17.

10. Белобров В.П., Голубев С.В. Техногенное загрязнение почв в зоне влияния аэропорта «Домодедово» // Агрохимический вестник. 2007. № 5. С. 26-28.

11. Белобров В.П., Замотаев И.В. Почвогрунты и зеленые газоны спортивных и технических сооружений // М., «ГЕОС», 2007, с.168.

12. Березин П.Н. Особенности распеределения гранулометрических элементов почв и почвообразующих пород// Почвоведение № 2, изд-во Наука (М.), 1983, с. 64-72.

13. Березин П.Н., Воронин А.Д., Шеин Е.В. Основные параметры и методы количественной оценки почвенной структуры //Почвоведение.- 1985.- № 10.- С. 58-67.

14. Болгов М.В., Голубаш Т.Ю. Экспериментальные исследования водно-физических свойств городских почв Ростова Великого// Известия Российской академии наук. Серия географическая, № 3, 2009, с. 107-117.

15. Бонадарев А.Г Теоретически основы и практика оптимизации физических условий плодородия почв// Почвовеение, 1994, 11, С.10-15

16. Булыгина О.Н., Разуваев В.Н., Коршунова Н.Н., Швец Н.В. «Описание массива данных месячных сумм осадков на станциях России». Свидетельство о государственной регистрации базы данных № 2015620394. http://meteo.ru/data/158-total-precipitation#описание-массива-данных

17. Булыгина О.Н., Разуваев В.Н., Трофименко Л.Т., Швец Н.В. «Описание массива данных среднемесячной температуры воздуха на станциях России». Свидетельство о государственной регистрации базы данных № 2014621485. http://meteo.ru/data/156-temperature#описание-массива-данных

18. Бушинский В.П. Система обработки почв по Вильямсу. (Почвенно-биологические и биохимические основы) // Вестник АН СССР. 1944. № 9. С.56–69.

19. Быков А.А., Мурзин Н.В. Проблемы анализа безопасности человека, общества и природы. С.-Пб.: Наука, 1997.

20. Вадюнина А.Ф., Корчагина З.А. Методы исследования физических свойств почв. М.: Агропромиздат, 1986, 416 с.

21. Васенев В.И. Агрохимические и микробиологические особенности конструктоземов Москвы и Московской области // Агрохимический вестник, № 4, 2011, с. 37-40

22. Васенев В.И., Епихина А.С., Фатиев М.М., Прохоров И.С. Экспериментальное моделирование конструкции городских почвогрунтов с минимальной эмиссией парниковых газов // Агроэкология, № 1, 2014, с. 43-49.

23. Воронин А.Д. Структурно-функциональная гидрофизика почв. М.: Изд-во Московского университета, 1984, 204 с.

24. Гальченко С.В., Мажайский Ю.А., Гусева Т.М., Чердакова А.С. Влияние загрязнения свинцом почв и антропогенных конструктоземов на экологическое состояние газонных злаков в условиях эксперимента // Вестник Рязанского государственного университета им. С.А. Есенина. № 3 (52), 2016, с. 165-170.

25. Герасимова М. И., Строганова М. Н., Можарова Н. В., Прокофьева Т. В. Антропогенные почвы: генезис, география, рекультивация: Учеб. пособие. — Смоленск: Ойкумена, 2003. — 268 с.

26. Герке К. М, Скворцова Е. Б., Корост Д. В., Томографический метод исследования порового пространства почв: состояния проблемы и изучение некоторых почв России, Почвоведение, № 7, 2012, с. 781–791.

27. Гладов А.В. Озеленение как фактор повышения благоустройства города (на примере городского округа Самары) // Вестник Самарского государственного университета, № 2 (124), 2015, с. 207–214.

28. Глобус А.М. Почвенно-гидрофизическое обеспечение агроэкологических математических моделей. – Л.: Гидрометеоиздат, 1987. – 428 с.

29. Горбов С.Н., Романюта Е.М., Безуглова О.С. Специфика формирования антропогенно-преобразованного почвенного покрова гольф-поля – крупнейшего спортивного сооружения юга европейской части России [Электронный ресурс]/ Е.М. Романюта // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации, № 2, 2013, с. 104-117.

30. Громакова Н.В., Богучарскова Е.А., Незус А.В., Беличенко К.А. Последствия несбалансированной антропогенной нагрузки на агроценозы //Сборник: Инновации в технологиях возделывания сельскохозяйственных культур материалы международной научно-практической конференции, 2015, с. 28-32.

31. Гулаев В.М., Зудилин С.Н., Гулаева Н.В. Влияние основной обработки почвы на агрофизические показатели плодородия почвы на посевах сои // Известия Самарского научного центра Российской академии наук, т. 16, №5(3), 2014, с. 1090-1092.

32. Дмитриев Е.А. К методике полевого изучения путей передвижения в почве жидкой влаги // Научн. докл. Высш. шк. Биол. науки, №5, 1971.

33. Дмитриев Е.А. Почва и почвоподобные тела // Почвоведение, №3, 1996, с.310-319.

34. Дмитриев Е.А., Щеглов В.Н., Басевич В.Ф. Характер миграции воды во влажных почвах.// Почвоведение, 1985, №8, с. 61-66.

35. Добровольский Г.В. Микроморфология почв как особый раздел почвоведения // Почвоведение. 1977. № 3. С. 3–18

36. Добровольский Г. В., Никитин Е. Д. Экология почв. Учение об экологических функциях почв. Второе издание, уточненное и дополненное. — 2012. — С. 412.

37. Докучаев В.В. Дороже золота Русский чернозем. М.: Изд-во Моск.ун-та, 1994. 543с.

38. Еремин Д.И., Попова О.Н. Формирование почвенной микрофлоры в антропогенно-преобразованных почвах// Вестник Государственного аграрного университета Северного Зауралья, № 4 (31), 2015, с. 7-12.

39. Жолкевич В.Н., Гусев Н.А., Капля А.В. и др. Водный обмен растений / отв. ред. И.А. Тарчевский, В.Н. Жолкевич. — АН СССР, Ин-т физиологии растений им. К.А. Тимирязева. — М.: Наука, 1989. — 256 с.

40. Заварзина А.Г., Ванифатова Н.Г., Степанов А.А. Фракционирование гуминовых кислот по относительной гидрофобности, размеру и заряду

методом высаливания/ /Почвоведение № 12 // Eurasian Soil Science т.41, 2008, с. 1466-1474.

41. Зайдельман Ф.Р. Гидрологический режим почв Нечерноземной зоны. Л.: Гидрометеоиздат, 1985, 329 с.

42. Зайдельман Ф.Р."Мелиорация почв", М.: Изд-во МГУ 1987, 304 с.

43. Закон г. Москвы от 04.07.2007 № 31 «О городских почвах»

44. Замотаев И.В. Факторы почвообразования на футбольных полях // Вестник МГПУ. - 2008. - № 3. - С. 15-32.

45. Замотаев И.В., Белобров В.П., Дмитриева В.Т., Шевелев Д.Л. Техно-педогенез на футбольных полях России. М., 2012. 264 с.

46. Замотаев И.В., Белобров В.П. Элементарные почвообразовательные процессы в почвоподобных техногенных образованиях футбольных полей России // Почвоведение, – № 8. – 2014 – с. 998-1013.

47. Замотаев И.В., Шевелев Д.Л. Модели технопедогенеза на футбольных полях московского региона. Научные ведомости Белгородского государственного университета. Серия: Естественные науки. 2012. Т. 20. № 15 (134). С. 141-150.

48. Замотаев И.В., Шевелев Д.Л. Спортивный техногенез как фактор почвообразования // Проблемы региональной экологии, № 6, 2009. С. 268-274.

49. Зимовец П.А., Бармин А.Н., Валов М.В., Бармина Е.А. Поливариантность подходов к изучению почв городских территорий // ООО «Тора», Астраханский государственный университет, № 4 (59) , 2015, с.69-76.

50. Зинченко С.И., Щукин И.М., Лукин С.М., Борин А.А. Антропогенное воздействие на структуру дерново-подзолистых почв в агроэкосистемах верхневолжья // Владимирский земледелец, № 1 (75), 2016, с. 21-24

51. Ильинская И.Н., Сафонова И.В., Батищев В.И. Сравнительная оценка агрофизических свойств почв центральной орошаемой зоны Ростовской области // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации. - 2012. - № 2(06). - С. 50-59.

52. Ильяшенко М.А. Характеристика верхнего слоя конструктозёмов. // XV международная конференция студентов, аспирантов и молодых ученых. Ломоносов – 2008. Секция «почвоведение». 8-12 апреля 2008 г. / Тезисы докладов. – Москва: 2008. – 52-53 с.

53. Исаков А.Е. Новейшие исследования в современной науке: опыт, традиции, инновации // Научно-издательский центр «Открытие», 2015, с. 46-51

54. Истомин Б. С., Гаряев Н. А., Барабанова Т. А. Экология в строительстве: монография / ГОУ ВПО Моск. гос. строит. ун-т. М.: МГСУ, 2010. — 154 с.

55. Караванова Е.И., Белянина Л.А., Степанов А.А. Водорастворимое органическое вещество и кислотность почвенных растворов главных типов почв ЦЛГПБЗ/ /Почвоведение № 5, изд-во Наука (М.), 2007, с. 1-13.

56. Карпачевский Л.О., Шевякова Н.И., Зубкова Т.А., Бганцова М.В., Маджугина Ю.Г. Город и биосфера// Биосфера. Т. 1. № 2, 2009, с. 153-165.

57. Качинский Н.А. Физика почвы. - М.: Изд-во «Высшая школа», 1979. - 357с.

58. Качинский, Н.А. Почва, ее свойства и жизнь / Н.А. Качинский. М.: Наука, 1975.-295с.

59. Качинский Н.А. Физика почвы. Ч.2. М.: Высшая школа, 1970. 358 с.

60. Классификация и диагностика почв России / Л.Л. Шишов и др.; под ред. Г.В. Добровольский. – Смоленск, 2004 – С. 342.

61. Климат, погода, экология Москвы. Под ред. Клинова Ф.Я. СП-б.: Гидрометеоиздат. 1995, 439 с.

62. Князева Т. П. Газоны / Т. П. Князева. – М.: Вече, 2004, с.176

63. Ковалева Г.В., Старожилов В.Т. Дербенцева А.М., Назаркина А.В. и др. Почвы и техногенные поверхностные образования в городских ландшафтах: монография. Владивосток: Дальнаука, 2012. 159 с.

64. Ковда Р.А., Розанов Б.Г. Почвоведение: в 2 частях. — М.: Высшая школа, 1988.

65. Когут Б.М., Большаков В.А., Фрид А.С., Краснова Н.М., Бродский Е.С., Кулешов В.И. Аналитическое обеспечение мониторинга гумусового состояния почв. Методические указания. М.: Изд-во РАСХН, 1993. 73 с.

66. Козлова А.А., Макарова А.П., Иванюта Л.А., Вашукевич Н.В. Экологическое функционирование почв города Иркутска // Бюллетень Восточно-Сибирского научного центра Сибирского отделения Российской академии медицинских наук. 2006. № 2. С. 50-56.

67. Корост Д.В., Калмыков Г.А., Япаскурт В.О., Иванов М.К. Применение компьютерной микротомографии для изучения строения терригенных коллекторов // Геология нефти и газа. 2010. № 2. С. 36–42.

68. Костычев П.А. Почвы черноземной области России. М.: Гос. Изд-во с.-ч. Лит-ры,1949. 476 с.

69. Куленкамп А.Ю., Белобров В.П., Логинова А.В., Белоброва Д.В. Озеленение городов (на примере мегаполиса Москва) // Вестник ландшафтной архитектуры. 2013. № 1. С. 37-44.

70. Курбатова А.С., Башкин В.Н. и др. Экологические решения в московском мегаполисе // М.-Смоленск, «Маджента», 2004, с.576 .

71. Курбатова А.С., Башкин В.Н., Баранникова Ю.А., Герасимова С.Г., Никифорова Е.В., Решетина Е.В., Савельева В.А., Савин Д.С., Смагин А.В., Степанов А.Л. Экологические функции городских почв. – Смоленск: Маджента, 2004, 232 с.

72. Курбатова, А. С. Ландшафтно-экологические основы формирования градостроительных структур - М.: Маджента, 2004. – 400 с.

73. Лебедева И.И., Базыкина Г.С., Гребенников А.М., Чевердин Ю.И., Беспалов В.А. Опыт комплексной оценки влияния длительности земледельческого использования на свойства и режимы агрочерноземов каменной степи// Бюллетень Почвенного института им. В.В. Докучаева № 83, 2016, с. 77-102.

74. Лебедева И.И., Герасимова М.И. Возможности включения почв и почвообразующих пород Москвы в общую классификационную систему почв России// Почвоведение, № 5, 2011, с. 624-628.

75. Лембриков В.М., Степанов А.А., Коняхина Л.В., Волкова В.В, Ершова С.М. Выделение и исследование ГВ из апатитового концентрата Хибинского месторождения//Технология неорганических веществ и материалов, № 8, 2006,с. 2-4.

76. Лысенкова З.В., Рудский В.В. Количественные показатели оценки состояния антропогенных ландшафтов // Современные проблемы науки и образования. – 2014. – № 3. – С. 785

77. Макаров О.А., Степанов А.А., Черкашина Н.Ф., Чистова О.А., Панина Н.Н. Опыт оценки влияния гуминовых препаратов на урожайность и качество картофеля // Агрохимический вестник: научно-практический журнал. 2016. № 1. С. 22-26.

78. Мамонтов В.Г., Озеров Ю.А., Родионова Л.П. Состав гумуса почв г. Москвы (на примере САО и СЗАО)// Известия Тимирязевской сельскохозяйственной академии. М. № 5, 2011. С. 8 - 12.

79. Маслов Б.С. Глубокое рыхление почв: опыт и задачи науки // Гидротехника и мелиорация. 1979. № 7. С. 28–33.

80. Медведев В. В. Оптимизация агрофизических свойств черноземов / В. В. Медведев. – М. : Агропромиздат, 1988. – 160 с.

81. Меерсон Г.Н. Влияние агрегатного состава почвы на эффективность промывок засоленных земель. Химизация соц.земледелия. 1936, № 203. С. 165-170.

82. Мещеряков П.В., Прокопович Е.В., Коркина И.Н. Трансформация экологических условий почвообразования и формирования гумусовых веществ под влиянием урбогенеза // Экология. 2005. № 1. С. 11-19.

83. Минеев В.Г. Агрохимия. М: МГУ – Колосс, 2004.- 720 с.

84. Молодкин П. Ф. Антропогенная геоморфология. — Ростов-на-Дону: Изд-во Ростовского ун-та, 1995, 64 с.

85. Мосолов В.П. Коренное улучшение дерново-подзолистых почв // Социалистическое земледелие. 1951. № 4. С. 21–38.

86. Муромцев Н.А. Определения коэффициента влагопроводности почв в почвенных колоннах и лизиметрах // Бюллетень Почвенного института им. В.В. Докучаева. 2013. Вып. 72, с. 84-95.

87. Муромцев Н.А., Семенов Н.А., Шуравилин А.В., Панов Г.А., Анисимов К.Б., Шафикова А.М. Особенности внутрипочвенного влаго- и солепереноса // Мелиорация и водное хозяйство. 2008. № 6. С. 22–24.

88. Неверова О.А., Ягодкина Е.А. Устойчивость древесных растений в условиях городской среды. Материалы V международной научно-практической конференции урбоэкосистемы: проблемы и перспективы развития. Ишим, 2010. С. 102-103.

89. Немцев С.Н., Карпов А.В., Сайдяшева Г.В. Агрофизические свойства почв агроландшафтов южной зоны ульяновской области // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. 2015. № 2 (30). С. 18-24.

90. Николаева И.В., Початкова Т.Н., Манучаров А.С. Влияние азотных удобрений и известкования на реологические свойства дерново-подзолистых почв // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. 2008. №2 (40). С. 31-35.

91. Орлов, Д.С. Химия почв; М.: МГУ - Москва, 1985. - 376 с.

92. Полякова Н.В., Платонычева Ю.Н. Некоторые закономерности антропогенного преобразования серых лесных почв // Российская сельскохозяйственная наука, № 4, 2012, с. 28-30.

93. Прокофьева Т.В., Каздым А.А. Высокодисперсное вещество специфических городских почв - урбаноземов // Минералогия техногенеза, Т. 7, 2006, с. 285-301.

94. Прокофьева Т.В., Мартыненко И.А., Иванников Ф.А. Систематика почв и почвообразующих пород города Москвы и возможность включения их в общую классификацию// Почвоведение № 5, 2011, с. 611–623.

95. Прокофьева Т.В., Строганова М.Н. Почвы Москвы (почвы в городской среде, их особенности и экологическое значение). Серия Москва биологическая. - М.: ГЕОС, 2004. - 60 с.

96. Просянников Е.В., Рыженков Д.Д. Почвенные конструкции с заданными свойствами //Агрохимический вестник. 2009. № 3. С. 13-14.

97. Роде А.А. Избранные труды в четырех томах. М., 2008. Т. 3. 663 с.

98. Роде А.А. Основы учения о почвенной влаге Т.1.// Л.: Гидрометеоиздат, 1965.

99. Роде А.А. Основы учения о почвенной влаге Т.2. Методы изучения водного режима почв. - Л.: Гидрометеоиздат, 1969. -287 с.

100. Садовникова Н.Б., Смагин А.В. Технологии почвенного конструирования с использованием природных и синтетических биополимеров // Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, Факультет почвоведения// Экологический вестник Северного Кавказа. 2012. Т. 8. № 3. С.5-30.

101. Сапожников П.М. Мониторинг физических и технологических свойств почв при антропогенном воздействии. // Тезисы докладов II съезда общества почвоведов. 1996 г. Санкт-Петербург. с. 136.

102. Семенюк О.В., Владыченский А.С. Организация структуры почвенного покрова объектов ландшафтного проектирования // Пространственно-временная организация почвенного покрова: теоретические и прикладные аспекты. СПб., 2007.

103. Семенюк О.В., Силева Т.М., Пеленева М.В. «Минеральная основа антропогенных почв объектов ландшафтной архитектуры // Вестник Московского Университета. Серия 17. 2011. № 4. С. 17-21.

104. Скворцова Е.Б., Уткаева В.Ф. Строение порового пространства как геометрический показатель почвенной структуры // Почвоведение. 2008. № 11. С. 1354–1361.

105. Смагин А.В. , Хакимова Г.М., Хинеева Д.А., Садовникова Н.Б. Гравитационный фактор формирования наименьшей и капиллярной

влагоемкости в почвах и слоистых почвенных конструкциях // Почвоведение, № 11, 2008, с.1344-1353.

106. Смагин А.В. Теория и практика конструирования почв.//М, Изд-во Московского университета, 2012, 542 с.

107. Смагин А.В., Губер А.К., Шеин Е.В., Мунир Г. Разработка почвенных конструкций и режимов орошения озеленяемых городских ландшафтов в условиях аридного климата // Деградация почв и опустынивание. М.: МГУ, 1999. С. 470-482.

108. Смагин А.В., Садовникова Н.Б. Создание почвоподобных конструкций. Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова // Почвоведение. 2015. № 9. С. 1112-1123.

109. Смагин А.В., Садовникова Н.Б., Назарова Т.В., Кирюшова А.Б., Машика А.В., Еремина А.М. Влияние органического вещества на водоудерживающую способность почв/ /Почвоведение № 3, изд-во Наука (М.), 2004, с. 312-321.

110. Соколов В.Н., Юрковец Д.И., Разгулина О.В. Определение коэффициента извилистости поровых каналов с помощью компьютерного анализа РЭМ изображений. // Известия Акад. Наук, сер. физич. 1997. Т. 61. № 10. С. 1898-1902.

111. Соколов В.Н., Юрковец Д.И., Разгулина О.В., Мельник В.Н. Изучение характеристик микроструктуры твердых тел с помощью компьютерного анализа РЭМ-изображений // Изв. РАН. Сер. физическая. 2004. Т. 68, № 9. с. 1332–1337.

112. Сорокина М.В. Влияние обработки почвы на ее агрофизические свойства в звене зернового севооборота // RJOAS, 6(54), June 2016, с. 21-28.

113. Соромотина Т.В., Федурина О.Н. Влияние мульчирующих материалов на агрофизические свойства почвы // Аграрный вестник Урала №12 (104), 2012, с. 4-6.

114. Степанов А.А. Особенности строения гуминовых веществ из внутритрещинного материала и генетических горизонтов торфянисто-подзолистой почвы. //Почвоведение, 2008, №8, с.948-954.

115. Степанов А.А. Получение амфифильных фракций гуминовых кислот из чернозема южного и их характеристика// Почвоведение № 8 // Eurasian Soil Science, 2005, с. 955-959.

116. Степанова Л.П., Яковлева Е.В., Писарева А.В. Экологическая оценка влияния антропогенного воздействия на физико-химические свойства урбаноземов, дерново-подзолистой почвы парковой зоны (г. Москва) и серой лесной почвы (шлаковый отвал п. Думчино)// Агробизнес и экология, Т. 2, № 2, 2015, с. 244-246.

117. Стома Г.В. Почвы фруктовых садов г.Москвы и их экологическое состояние// Проблемы агрохимии и экологии, № 2, 2012, с. 42-46.

118. Стома Г. В. Некоторые физические свойства корнеобитаемых горизонтов почв городских территорий // Труды Всерос.конференции Фундаментальные физические исследования в почвоведении и мелиорации 22-25 декабря. — Московский государственный университет Москва, 2003, с. 120–122.

119. Строганова М.Н. Городские почвы: генезис, систематика и экологическое значение. Дисс. док. биол. н. М., 1998, 71 с.

120. Строганова М.Н., Агаркова М.Г. Городские почвы: опыт изучения и систематики (на примере почв юго-западной части г. Москвы) // «Почвоведение», 1992, №7, с.16-23.

121. Строганова М.Н., Мягкова А.Д., Прокофьева Т.В. Городские почвы: генезис, классификация, функции // Почва. Город. Экология / Под ред. Г.В. Добровольского. М., 1997. С. 15-85.

122. Тагивердиев С.С., Безуглова О.С., Горбов С.Н. Структурное состояние антропогенно-преобразованных почв разных зон землепользования ростовской агломерации// Фундаментальные исследования, № 8-1, 2015, с. 47-53.

123. Теории и методы физики почв. Коллективная монография под ред. Шеина Е.И. и Карпачевского Л.О. Тула: Гриф и К, 2007, 616 с.

124. Тонконогов В.Д., Шишов Л.Л. О классификации антропогенно-преобразованных почв// Почвоведение, № 1 , 1990.

125. Трегубов О.В., Одноралов Г.А., Тихонова Е.Н., Сухоруков Д.В. Анализ почвенных условий произрастания декоративных растений в парке Олимпийский // Лесотехнический журнал. 2015. Т. 5. № 1 (17). С. 109-119.

126. Турсина Т.В. Микроморфологическая диагностика полигенетичности почв // Тр. Почв. инта им. В.В. Докучаева. М., 1990. С. 144–149.

127. Турсина Т.В. Микроморфология в XXI веке // Тезисы доклада III съезда Докучаевского общества почвоведов. Суздаль, 2000. Т. 3. С. 243–244.

128. Умарова А.Б. Преимущественные потоки влаги в почвах: закономерности формирования и значение в функционировании почв. Издательство: ГЕОС, 2011, 266 с.

129. Умарова А.Б., Иванова Т.И. Динамика дисперсности модельных дерново-подзолистых почв в многолетнем лизиметрическом эксперименте // Почвоведение. 2008. № 5. С. 587–598.

130. Умарова А.Б., Иванова Т.И., Кирдяшкин П.И. Гравитационный поток влаги и его роль в эволюции почв: прямые лизиметрические исследования //, Вестник ОГУ, 2006, №6, т.2 с. 103-110.

131. Умарова А.Б., Кирдяшкин П.И. Конвективный перенос растворенных веществ преимущественными потоками влаги в серых лесных почвах Владимирского ополья // Вестник ОГУ. 2007. №10. Специальный выпуск (75). Ч.3. С. 364-369.

132. Хайдапова Д.Д., Милановский Е.Ю., Честнова В.В. Оценка реологическими методами восстановления структуры почв под влиянием выращивания лесополос на антропогенно нарушенных почвах //Вестник Алтайского государственного аграрного университета. 2014. № 6 (116). С. 53-57.

133. Хитров Н.Б. Деградация почв и почвенного покрова; понятия и подходы к получению оценок. Тезисы и доклады Всероссийской конференции. Т.1.М: Почвенный институт им. В.В. Докучаева РАСХН, 1998, 354 с.

134. Хрусталева С. Декоративные газоны / С. Хрусталева. – СПб. : Диля, 2009, 159 с.

135. Чижикова Н.П., Верховец И.А., Владыченский А.С. Первичное почвообразование на покровных суглинках под различными естественными ценозами и агроценозами // Бюлл. Почв. Ин-та им. В.В. Докучаева. 2002. В. 55. С. 55–61.

136. Чуков С.Н., Рюмин А.Г., Копосов А.С., Голубков М.С. Профильная организация органического вещества антропогенно преобразованных лесостепных почв // Вестник Санкт-Петербургского университета. Серия 3. Биология, № 4, 2005, с. 76-89.

137. Шеин Е.В. Курс физики почв //М.,МГУ, 2005.

138. Шеин Е.В. Почвенные парадоксы структуры // Природа № 10, 2002.

139. Шеин Е.В., Архангельская Т.А., Гончаров В.М., Губер А.К., Початкова Т.А., Сидорова М.А., Смагин А.В., Умарова А.Б. Полевые и лабораторные методы исследования физических свойств и режимов почв. М., МГУ, 2001, 200 с.

140. Шеин Е.В., Гончаров В.М. Агрофизика – Ростов-на-Дону.: Феникс. 2006, 400с.

141. Шеин Е.В., Зинченко С.И., Мазиров М.А., Банников М.В., Тымбаев В.Г., Григорьев А.А., Корчагин А.А., Фаустова Е.В., Умарова А.Б., Дембовецкий А.В., Гончаров В.М., Прохоров М.В. Оценка и прогноз агрофизического состояния почв сельскохозяйственных земель (на примере комплекса элементарных почвенных ареалов Владимирского ополья), Владимир, 2007, 80 с.

142. Шеин Е.В., Милановский Е.Ю. Роль и значение органического вещества в образовании и устойчивости почвенных агрегатов // Почвоведение. 2003. №1, С.53-61.

143. Шеин Е.В., Початкова Т.Н., Холодков А.И. Реологические свойства дерново-подзолистой почвы // Вестник Оренбургского государственного университета. 2016. № 6 (194). С. 86-89.

144. Шеин Е.В., Торбик Е.А. Изучение гидрологии почвенных конструкций в лабораторных физических и прогнозных математических моделях Вестник Оренбургского государственного университета, № 6 (167), 2014, с. 218-223.

145. Шеин Е.В., Умарова А.Б., Ван Ицюань, Початкова Т.Н. Водный режим и изменение элементного состава дерново-подзолистых почв в условиях больших лизиметров // Вестник МГУ (Сер. Почвоведение). 1997. № 3. С. 28–39.

146. Шергина О.В. Морфологические и физико-химические особенности почв города Иркутска // География и природные ресурсы. 2006. № 1. С. 82-90.

147. Эггельсманн Р. Руководство по дренажу / Эггельсманн Рудольф; Перевод с немецкого В.Н. Горинского; Под ред.,предисл. Ф.Р.Зайдельмана. - М.: Колос, 1978. - 255с.

148. Яковлев А.С., Решетина Т.В., Сизов А.П., Прокофьева Т.В., Луковская Т.С., Самухина Т.М., Евдокимова М.В. Управление качеством городских почв. Учебно-методическое пособие. М.: МАКС Пресс, 2010.

149. Adams W.A., Jones R.L. The effect of particles size composition and root binding on the resistance to shear of sports turf surface // Rasen, Turf, Gazon. 1979. №2. P. 48-68.

150. Allen, H. P. Direct Drilling and Reduced Cultivation // перевод с английского зыка М.Ф. Пушкарева. - М.: Агропромиздат, 1985, 208 с.

151. Baeumer, R. Dauerversuche zur Lösung aktueller Probleme im Pflanzenbau; Berichte der Gesellschaft für Pflanzenbauwissenschaften, 1 / R. Baeumer // Kord Baeumer (Hg.): Berichte der 31. Jahrestagung der Gesellschaft für Pflanzenbauwissenschaften am 1–2. Oktober 1987 in FreisingWeihenstephan. – Kiel: Wissenschaftsverlag Vauk, 1988.

152. Baker S.W. Criteria in topsoil selection for sports turf // Agr. Engr. 1990 V.45. №3. P. 87-88.

153. Baveye P., Boast C.W., Ogawa S. et al. Influence of image resolution and thresholding on the apparent mass fractal characteristics of preferential flow patterns in field soils // Water Resources Research. 1998. V. 34. P. 2783–2796.

154. Bouma J. Hydropedology as a powerful for environmental policy research // Geoderma. 2006. V. 131. P. 275–286.

155. Chen, S., Ai, X., Dong, T., Li, B., Luo, R., Ai, Y., Chen, Z., Li, C. The physico-chemical properties and structural characteristics of artificial soil for cut slope restoration in Southwestern China. Scientific Reports, 2016, 6: 20565.

156. Cousens, R. Theory and reality of weed control thresholds / R. Cousens // Plant Protect. – 1987. – T. 2. – № 1. – P. 13–20.

157. Cox, J.A., and Whelan, R.J. Soil development of an artificial soil mix: nutrient dynamics, plant growth, and initial physical changes. Australian Journal of Soil Research, 2000, 38, pp. 465-477.

158. de Rooij G.H. Modeling fingered flow of water in soils owing to wetting front instability: a review // J. Hydrol. 2000. V. 231–232. P. 277–294.

159. Decina S.M., Hutyra L.R., Gately C.K. et al. Soil respiration contributes substantially to urban carbon fluxes in the greater Boston area // Environmental Pollution, 2016. – Vol. 212. – P. 433–439.

160. FAO UNESCO Soil Map of the World. Revised legend. FAO/UNESCO, Rome, 1990.

161. Feng Y. J., Li F., Wang X. L., Liu X. M., Zhang L. N., 2006: Principal Chemical Properties of Artifi cial Soil Composed of Fly Ash and Furfural Residue. Pedosphere 16(5), 668-672.

162. Gerke H.H. Preferential flow descriptions for structured soils // Journal of plant nutrition and soil science. 2006. V. 169. P. 382–400.

163. Glazovskaya M.A. Agrogenic transformation of the factors and mechanisms of changes in the humus pool of plowed soils // Eurasian Soil Science, 2004, т. 37, № SUPPL. 1.

164. Goncalves M.C., Simunek J., Ramos T.B., Martins J.C., Neves M.J., Pires F.P. (2006): Multicomponent solute transport in soil lysimeters irrigated with waters of different quality. Water Resources Research, 42, 17 pp.

165. Grabosky, J., Bassuk, N.L., and Marranca, M.B. 2002. Preliminary Findings from Measuring Street Tree Shoot growth in two Skeletal Soil Installations Compared to Tree Lawn Plantings. Journal of Arboriculture 28(2):106-108.

166. Hamberg L. The effects of habitat edges and trampling intensity on vegetation in urban forests. Academic dissertation. Doctoral thesis. Department of Biological and Environmental Sciences, Faculty of Biosciences, University of Helsinki. 2009. 32 p

167. Horn R. Soil water - storage potential, accessibility and flux as key functions for land use planning at various scales - do we need a paradigm change? // Book of Abstracts, EUROSOIL / Eds. Winfried H. Blum H. Martin et al. Vienna, 2008. pp. 41.

168. Hutyra L.R., Duren R., Gurney K.R. et al. Urbanization and the carbon cycle: Current capabilities and research outlook from the natural sciences perspective // Earth's Future, 2014. – Vol. 2, № 10. – P. 473–495.

169. Jacques D., Simunek J., Mallants D., M.Th. van Genuchten. Modelling coupled water flow, solute transport and geochemical reactions affecting heavy metal migration in a podzol soil. Geoderma, vol. 145, 2008, p. 449–46

170. Jarvis N.J., Jensson P.E., Dik P.T., Messing I. Modelling water and solute transport in macroporous soil. Model description and sensitivity analysis // J.Soil Sci. 1991. 42. № 1. Pp.59-70.

171. Köhne J M., Mohanty B.P., Šimůnek J. Inverse dual-permeability modeling of preferential water flow in a soil column and implications for field-scale solute transport // Vadose Zone Journal. 2006. V. 5. P. 59–76.

172. Krupka B. Dachbegruennung: Pflanzen- und Vegetationsanwendung an Bauwerken. Handbuch des Landschaftsbaus. Stuttgart: Verlag, 1992. 67 s.

173. Kubiena W. Micropedology. Ames, IA: Collegiate Press, 1938. 243 p.

174. Kuhne, S. Pflanzenschutz im okologischen Landbau / S. Kuhne, M. Jahn, M. Wick, H. Beer. – Braunschweig, 2001. – 52 s.

175. Lanthaler Ch. Lysimeter stations and Soil hydrology measuring sites in Europe – Purpose, equipment, research results, future developments // A diploma thesis for the degree of Magistra der Naturwissenschaften (Mag. rer. nat.) School of Natural Sciences at the Karl-Franzens-University Graz. 2004. P. 147.

176. Lehr R. Taschenbuch für den Garten- Landschafts- und Sportplatzbaus. Berlin: Parey Buchverlag, 1997. 952 s.

177. Loh, F.C.W., Grabosky, J.C., and Bassuk, N.L. Growth Response of Ficus benjamina to Limited Soil Volume and Soil Dilution in a Skeletal Soil Container Study. Urban Forestry & Urban Greening. 2003. 2(1):53-62.

178. Londo A.J., Messina M.G., Schoenholtz S.H. Forest Harvesting Effects on Soil Temperature, Moisture, and Respiration in a Bottonland Hardwood Forest//Soil Sci.Soc. Am.J.1999,Vol. 63, p.637-644.

179. Mualem, Y. and J. Bear. The shape of the interface in steady flow in a stratified aquifer. Water Resources Research Vol. 10, No. 6, pp. 1207-1215, 1974.

180. Mualem, Y., A new model for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated porous media, Water Resour. Res., 12(3), 513-522, 1976.

181. Ohsowski B.V., Klironomos J.N, Dunfield K.E., Harta M.M. The potential of soil amendments for restoring severely disturbed grasslands. Applied Soil Ecology, 2012, 60, p.77- 83

182. Pachepsky Y.A., Rawls W.J., Lin H.S. Hydropedology and pedotransfer functions // Geoderma. 2006. № 131. P. 308–316.

183. Pertovici T., Marinov A.M. A mathematical generalized approach to estimate soil moisture retention characteristics from texture classes // Univ. Politehn. Bucharest. Sci. Bull. D. Univ. Politehn.Bucharest. 2010. V. 72. № 1. P. 59–66.

184. Phoon Kok-Kwang, Santoso A., Quek Ser-Tong. Probabilistis analysis of soil-water characteristic curver // J. Geotechn. And Geoenviron Eng. 2010. V. 136. № 3. P. 445–455.

185. Pontedeiro E.M., van Genuchten M.Th. Cotta R.M., Simunek J. The effects of preferential flow and soil texture on risk assessments of a NORM waste disposal site // Journal of Hazardous Materials. 2010. V. 174. P. 648–655.

186. Poulenard J., Podwojewski P., Janeau J.L., Collinet J., Runoff and soil erosion under rainfall simulation of Andisols from the Ecuadorian paramo: effect of tillage and burning. Catena, 2001, 45, p.185 – 207.

187. Pouyat R.V., Szlavecz K., Yesilonis I.D., Groffman P.M., Schwarz K. Chemical, Physical, and Biological Characteristics of Urban Soils // Urban Ecosystem Ecology, Agronomy Monographs 55. – American Society of Agronomy, Crop Science Society of America, Soil Science Society of America. 2010. – p.119-152.

188. Rawls W.J., Nemes A. and Ya. Pachepsky. Effect of soil organic carbon on soil hydraulic properties. Development of Pedotransfer Functions in Soil Hydrology. 2004, p. 95-114

189. Ritsema C.J., Dekker L.W., Henrickx J.M.N., Hammnga W. Preferential flow mechanism in water repellent sandy soil // Water Resour. Res. 1993. 29. Pp. 2183-2193.

190. Scharenbroch B.C., Lloyd J.E., Johnson-Maynarda J.L. Distinguishing urban soils with physical, chemical and biological properties. // Pedobiologia. 2005. №49 – 283-296 p.

191. Segal, E., T. Kushnir, Y. Mualem, and U. Shani. Micro-sensing of water dynamics and roots distribution in sandy soils. Vadose Zone J. 7:1018-1026, 2008.

192. Shein E.V., Umarova A.B., Dembovetsky A.V.,Samoilov A.A. Effect of subsoil compaction on the hydraulic processes in landscapes // International Agrophisics. 2003, 17, C. 1-6.

193. Six J., Paustian K, Elliott E.T., Combrink C. Soil structure and organic matter I. Distribution of aggregate-size classes and aggregate-associated carbon. Soil Science Society of America Journal, 2000, 64 (2), p.681-689.

194. Tratalos J., Fuller R.A., Warren P.H. et al. Urban form, biodiversity potential and ecosystem services//Landscape and urban planning, 2007. - Vol. 83. - P. 308-317.

195. van Deventer P.W. Contradicting approaches to the establishment and construction of sports fields // First Int.Conf. on soils of urban, industrial, traffic and mining areas. V.II. Application of soil information University of Essen, Germany, 2000. P.541-542.

196. van Genuchten M.Th. A Closedform Equation for Pre dicting the Hydraulic // Conductivity of Unsaturated Soils, SSSAJ. 1980. V. 44. P. 892–898.

197. Vanderborght J., Gähwiller P., Flühler H. Identification of transport processes in soil cores using fluorescent tracers // Soil Sci. Soc. of Amer. J. 2002. V. 66. P. 774–787.

198. Walker, T.R. Anthropogenic metal enrichment of snow and soil in north-eastern European Russia / T.R. Walker [et al.] // Environmental Pollution. - 2003. - Vol.121. P. 11-21.

199. Watts C. W., Dexter A. R. The influence of organic matter on the destabilization of soil by simulated tillage. Soil Tillage Res., 1997, 42, p.253-275.

200. Wayllace, A., and Likos, W.J. Numerical modeling of artificial soil as an evapotranspirative cover, Proceedings of 4th International Conference on Unsaturated Soils, ASCE, Carefree, Arizona, 2006, pp. 646-657.

201. Wraith, J.M., 2002. Solute content and concentration – indirect measurement of solute concentration – time domain reflectometry. In: Dane, J.H., Topp, G.C. (Eds.), Methods of Soil Analysis, Part 4 – Physical Methods. Soil Science Society of America, Madison, WI, USA, pp. 1289–1297.

202. Zhang B., Horn R., Hallett P. D. Mechanical resilience of degraded soil amended with organic matter. Soil Sci. Soc. Am. J., 2005, 69, p.864-871.

Zimnoch M., Godlowska J., Necki J.M. et al. Assessing surface fluxes of CO2 and CH4 in urban environment: a reconnaissance study in Krakow, Southern Poland // Tellus, 2010. – Vol. 62B. – P. 573–580.

ПРИЛОЖЕНИЕ

Приложение А

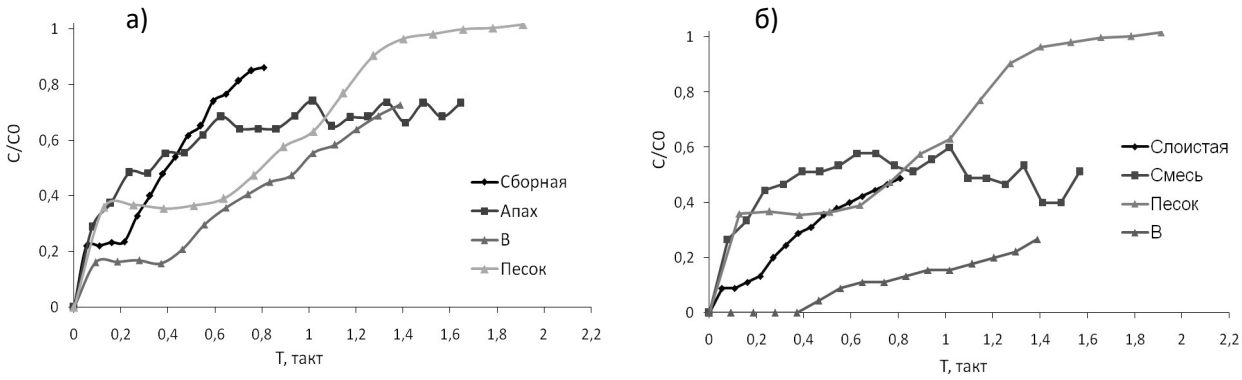


Рисунок 1. Выходные кривые хлорид-иона (а) и катиона калия (б) для всех колонок.

Приложение Б

Таблица №1.

Послойные запасы влаги в почвенных колонках (средние значения), мм водного слоя.

	Глубина, см	Капиллярное насыщение	После пролива	6 день	15 день
Песок	0-6 см	10,20	15,30	10,20	4,08
	6-9 см	5,61	6,63	5,61	2,55
	9-12 см	7,14	7,65	6,12	3,06
	12-18 см	18,36	20,40	16,32	6,63
	Суммарно	41,31	49,98	38,25	16,32
Торф	0-6 см	32,04	41,40	36,00	36,18
	6-9 см	17,82	25,83	20,25	18,63
	9-12 см	19,44	28,80	21,24	20,70
	12-18 см	45,72	59,40	49,50	42,30
	Суммарно	115,02	155,43	126,99	117,81
Горизонт В	0-6 см	26,10	29,70	26,10	22,50
	6-9 см	12,60	16,20	12,60	10,80
	9-12 см	13,50	17,10	13,50	13,05
	12-18 см	30,60	35,10	31,50	24,30
	Суммарно	82,80	98,10	83,70	70,65
Слоистая	0-6 см	23,40	24,30	24,30	23,40
	6-9 см	17,01	17,55	17,01	14,76
	9-12 см	7,65	3,57	3,57	2,04
	12-18 см	19,80	23,40	19,80	18,00
	Суммарно	67,86	68,82	64,68	58,20
Смешанная	0-6 см	20,25	34,02	18,63	19,44
	6-9 см	12,15	15,80	11,34	10,53
	9-12 см	17,82	21,06	17,01	13,77
	12-18 см	27,54	39,69	22,68	20,25
	Суммарно	77,76	110,57	69,66	63,99

Приложение В

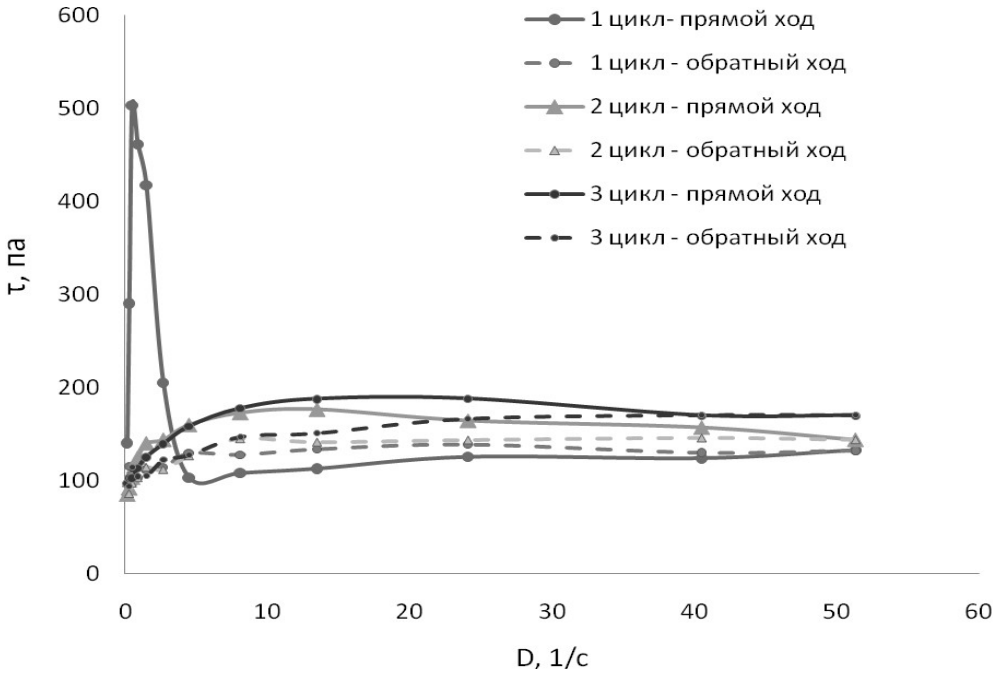


Рисунок 1. Основная реологическая кривая слоя торфа слоистой конструкции (через 2 года).