

ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ РАСТИТЕЛЬНОГО ПОКРОВА НА НОВЫХ ВИДАХ ОРГАНОГЕННЫХ СУБСТРАТОВ ПРИ РЕКУЛЬТИВАЦИИ ПОЛИГОНА ТВЕРДЫХ БЫТОВЫХ ОТХОДОВ Т.Е. Теплякова^{1*}, Д.М. Малюхин², Л.Г. Бакина¹

¹ Санкт-Петербургский научно-исследовательский центр экологической безопасности Российской академии наук (НИЦЭБ РАН) и ² ООО «Чистая земля», Санкт-Петербург, Россия

* Эл. почта: tteplyakova@gmail.com

Статья поступила в редакцию 23.02.2014; принята к печати 15.05.2014

Исследован полигон твердых бытовых отходов (ТБО) г. Гатчины Ленинградской области, где для рекультивации используются три вида органических субстратов: осадок сточных вод (ОСВ), компост с завода по переработке твердых бытовых отходов и кофейный жмых с завода по производству сублимированного кофе. Кофейный жмых не использовался ранее при рекультивации, а традиционные субстраты ОСВ и компост ТБО в настоящее время получают по новым технологиям, и, соответственно, они обладают новыми параметрами. Особенности зарастания этих органических субстратов практически не изучены, в то время как именно скорость самозарастания и формирования устойчивых биоценозов является основным критерием пригодности их в качестве плодородного слоя при рекультивации нарушенных земель. Фитотоксичность субстратов, используемых при рекультивации полигона ТБО, определяли по стандартной методике, в качестве тест-культур использовали семена овса и пшеницы. Описание растительности осуществляли геоботаническим методом на каждом участке с однотипным субстратом и с однородными пространственно-временными параметрами. Определена роль местных, культивируемых и заносных видов в формировании растительного покрова на исследуемых субстратах, учтена жизненная форма каждого вида и определено соотношение жизненных форм растений для каждого типа субстрата и их изменение в каждом временном ряду. Выявлена таксономическая структура видового состава, принимающего участие в формировании растительного покрова на каждом типе субстрата и ее изменение в каждом временном ряду, построены спектры семейств, ведущих по числу видов. Показано, что свойства исследованных субстратов и особенности формирования растительного покрова на этих субстратах позволяют использовать их в качестве плодородного слоя для проведения биологического этапа рекультивации.

Ключевые слова: рекультивация, токсичность, биотестирование, самозарастание, растительный покров.

VEGETATIONAL COVER FORMATION ON NOVEL TYPES OF ORGANIC SUBSTRATES UPON RECULTIVATION OF SOLID DOMESTIC WASTE LANDFILL

T.Ye. Teplyakova^{1*}, D.M. Maliukhin², L.G. Bakina¹

¹ Saint-Petersburg Center of Environmental Safety and ²ООО "Chistaya Zemlia", Saint-Petersburg, Russia

* E-mail: tteplyakova@gmail.com

Solid domestic waste landfill near Gatchina (Leningradskaya Oblast of the Russian Federation) uses three types of organic substrates for recultivation: sewage sludge (SS), compost produced by local plant for solid domestic waste treatment, and coffee cake as a byproduct of sublimated coffee manufacture. Coffee cake was not used for recultivation earlier, and SS and compost are generated using novel technologies and thus have new properties. The features of overgrowing of these substrates by higher plants were not studied. At the same time, the rates of overgrowing and formation of resulting stable biocenoses are the main parameters that determine whether substrates are suitable as fertile layers for recultivation of damaged lands. The phytotoxicity of these substrates was tested using oat and wheat seeds as test objects. Vegetation that spontaneously overgrows the substrates was annually characterised using geobotanical approaches on each of four plots covered with a specific substrate. Monitoring was carried out for up to 4 years. The roles of local, cultivated and stranger species and their life forms were distinguished. The taxonomic structures of vegetation and their changes over time and the species composition spectra of prevailing families were determined. The results suggests that the substrates studied are suitable as fertile layers for biological recultivation of landfills.

Keywords: landfill recultivation, toxicity, biotesting, spontaneous overgrowth, vegetation.

ВВЕДЕНИЕ

Доля городского населения непрерывно растет и составляет, например, в Австралии – 75%, в США – 80, в Японии – 76, в Германии – 90, в Швеции – 83, в России – 73% [6]. Экологические проблемы городов, главным образом крупных, связаны с чрезмерной

концентрацией населения, транспорта и промышленных предприятий на сравнительно небольших территориях и с образованием техногенных ландшафтов, которые включают в себя территории, занятые полигонами твердых бытовых отходов (ТБО), очень далеких от состояния экологического равновесия.

Сегодня в мире ежегодно образуется свыше 2 млрд тонн ТБО, то есть в среднем около 300 кг на каждого человека. По различным странам и населенным пунктам этот показатель колеблется от 150 до 750 кг/год, а в урбанизированных районах достигает 1000 кг на душу населения в год [1].

Прирост образования ТБО составляет от 3 до 12% в год в различных странах. В ТБО возрастает доля бумаги, пластмасс, синтетических пленок, боя люминесцентных ламп, остатков пищевых продуктов. Исследования показывают, что небольшая семья производит в расчете на одного человека больше мусора, чем многочисленная. Однако именно небольшие семьи становятся все более типичными [7]. Растущее население, увеличивающиеся доходы и изменение структуры потребления усложняют решение проблемы утилизации отходов. Количество мусора увеличивается, поскольку растет продажа товаров, которые просты в обращении, но при этом реализуются с большим удельным содержанием упаковок, следствием чего становится рост образования ТБО на душу населения. По данным Европейского агентства по окружающей среде, в 2007 году в Европе образовалось в среднем 516 кг ТБО в расчете на одного человека¹.

В России образование отходов составляет 3,4 млрд тонн в год, в том числе 2,6 млрд т/год – промышленные отходы, 700 млн т/год – жидкие отходы птицеводства и животноводства, 35–40 млн т/год – твердые бытовые отходы (ТБО), 30 млн т/год – осадки очистных сооружений. Средний уровень их использования составляет около 26%, в том числе промышленные отходы перерабатываются на 35%, ТБО – на 3–4%, остальные отходы практически не перерабатываются. В результате низкого уровня использования продолжается накопление отходов в природной среде [4]. По оценкам Научно-исследовательского центра по проблемам управления ресурсосбережением и отходами (НИЦПУРО), объемы накопления неиспользуемых отходов достигли 80–90 млрд тонн².

Все это приводит к значительному увеличению площади нарушенных территорий, которые не могут в дальнейшем быть использованы без специальных работ по их восстановлению (рекультивации). Согласно ГОСТ 17.5.1.01-83, нарушенными территориями, требующими рекультивации, являются земли, утратившие в связи с их нарушением первоначальную хозяйственную ценность и являющиеся источником отрицательного воздействия на окружающую среду³. Типичными представителями нарушенных городских территорий и одним из неблагоприятных факторов, воздействующих на окружающую среду, являются полигоны ТБО.

Рекультивация закрытых (исчерпавших свой ресурс вместимости) полигонов проводится в соответствии с требованиями «Инструкции по проектированию, эксплуатации и рекультивации полигонов твердых

бытовых отходов», ГОСТов и СанПиНов⁴. Согласно ГОСТ 17.5.1-83 «Охрана природы. Рекультивации земель. Термины и определения», рекультивация – это комплекс работ, направленных на восстановление продуктивности и народнохозяйственной ценности нарушенных земель, а также улучшение условий окружающей среды в соответствии с интересами общества. Очевидно, что при рекультивации полигонов ТБО главной задачей является улучшение условий окружающей среды, а основным направлением рекультивации – природоохранное. В соответствии с вышеупомянутым п. 3.2 вышеуказанной инструкции, рекультивация закрытых полигонов проводится только после окончания процесса стабилизации свалочных масс (для климатической зоны Санкт-Петербурга и Ленинградской области – после двух лет). В случае нашего наблюдения процесс стабилизации свалочных масс продолжался около трех лет.

Дальнейшее целевое использование территории является одним из основных факторов при выборе технологии рекультивации. С точки зрения экологической безопасности рекультивация нарушенных земель не представляет опасности для населения и окружающей среды при соблюдении ограничений и требований, указанных в проектных решениях.

Рекультивация полигонов ТБО, как правило, выполняется в два этапа.

Первым этапом является технический этап рекультивации. На этом этапе выполняются, прежде всего, строительные-монтажные работы в части инженерных систем и сооружений, обеспечивающих охрану окружающей среды. В этот же период осуществляются планировка, формирование откосов, разработка, транспортировка и нанесение технологических слоев. Эти работы сопровождаются мониторингом закрытой свалки по состоянию складированной массы отходов и влиянию на окружающую среду.

За технической рекультивацией следует биологический этап рекультивации, который включает мероприятия по восстановлению территории закрытых полигонов для их дальнейшего целевого использования в народном хозяйстве, в том числе комплекс агротехнических и фитомелиоративных мероприятий, направленных на восстановление нарушенных земель.

В результате проведения рекультивации и создания многофункционального покрытия над отходами получается площадка для целевого использования. Многофункциональное покрытие закрывает поверхность твердых бытовых отходов. Четко спланированное покрытие минимизирует доступ атмосферных осадков в толщу отходов. Как следствие, сокращается количество фильтрата, снижается концентрация в нем поллютантов, после окончательного устройства покрытия прекращается возгораемость отходов, и в результате минимизируется загрязнение воздушного бассейна.

При санитарно-гигиеническом направлении рекультивации предусмотрено, наряду с другими мероприятиями, «нанесение экранирующего слоя почвы из потенциально плодородных пород на поверхность отвалов, сложенных непригодным для биологической

¹ Municipal Solid Waste (MSW) in the United States: Facts and Figures – 2008 – URL: <http://www.epa.gov/osw/nonhaz/municipal/pubs/msw2008rpt.pdf>

² Десяткин В.В., Дюкин В.А., Гаев Ф.Ф., Шканов С.И., Черняго В.А. О необходимости создания в России системы вторичных ресурсов. – М.: НИЦПУРО, 2002. <http://recyclers.ru/modules/section/print.php?itemid=144>

³ ГОСТ 17.5.3.04-83 «Охрана природы. Земли. Общие требования к рекультивации земель».

⁴ ТСН 11-301-2004 «Положение о порядке проведения работ по рекультивации несанкционированных свалок в г. Москве»; ТСН 11-301-2005 «Положение о порядке работ по рекультивации несанкционированных свалок в г. Москве».

рекультивации субстратом»⁵. Известно, что наряду с гумусовыми горизонтами естественных почв, обычно используемых в качестве плодородного слоя, используют различные органогенные субстраты (в частности, отходы пищевой промышленности и коммунально-бытового хозяйства), обладающие определенной потенциальной биологической продуктивностью, сопоставимой с таковой у почв, а иногда и превосходящей ее. Особенности зарастания этих органогенных субстратов практически не изучены, в то время как именно скорость самозарастания и формирования устойчивых биоценозов является основным критерием пригодности их в качестве плодородного слоя при рекультивации нарушенных земель. Представляемая работа посвящена изучению начала формирования растительного покрова на новых видах органогенных субстратов при рекультивации полигона ТБО.

1. ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ

1.1. Характеристика полигона ТБО

Полигон ТБО находится на расстоянии 500 м к юго-западу от поселка Ивановка, северо-западнее развязки автодороги Гатчина–Санкт-Петербург.

Территория полигона расположена на Ижорской возвышенности. Существующие отметки поверхности земли вокруг свалки составляют 75–76 м от Кронштадского футштока. Исходная (до рекультивации) поверхность отходов представляла неорганизованные карты различной высоты.

Район полигона находится под воздействием атлантических и континентальных воздушных масс умеренных широт, частых вхождений арктического воздуха и активной циклонической деятельности. Преобладают преимущественно западные, южные и юго-западные ветры. В результате взаимодействия всех климатообразующих факторов климатические условия умеренно теплые с влажным летом и довольно продолжительной умеренно холодной зимой. Среднегодовая температура равна + 4 °С. Период со средней суточной температурой воздуха ниже 10 °С составляет 242 суток. Средняя температура наиболее холодного периода составляет –11 °С. Средняя месячная относительная влажность воздуха наиболее холодного месяца составляет 85%, наиболее теплого месяца – 59%. По количеству осадков район относится к зоне с избыточным увлажнением. Среднегодовой уровень осадков за последние четыре года составил 637 мм. Глубина промерзания почвы колеблется от 0,25 до 0,90 м.

Геологическое строение подстилающих грунтов определяется расположением объекта в пределах северо-западной части Русской платформы. Осадочные отложения от верхнепротерозойских до среднедевонских (мощностью до 400–500 м) залегают на кристаллическом фундаменте. Более молодые четвертичные образования плащеобразно залегают на древних породах (их мощность до 10 м). Подземные воды встречаются в отложениях всех возрастов. Водовмещающие породы – известняки трещиноватые, образующие карсты. Известняки сверху прикрыты маломощными отложениями, представленными моренными суглинками, озерно-ледниковыми песчаными породами и глинами с прослоями мергеля. Мощность девонских отложений не превышает 10–15 м.

⁵ ГОСТ 17.5.3.04-83. «Общие требования к рекультивации земель», п. 6.4.

Грунтовые воды по составу гидрокарбонатные кальциевые, отличающиеся повышенной жесткостью.

Площадь полигона 10 га, по результатам геодезической съемки на момент проектирования объем свалочных масс составлял порядка 3–4 млн куб. м отходов. Полигон был предназначен для приема, складирования и хранения ТБО в течение расчетного срока эксплуатации 20 лет.

Перед началом разработки проекта рекультивации был определен морфологический состав отходов ТБО (табл. 1).

Табл. 1

**Морфологический состав
твердых бытовых отходов полигона**

Компонент	Процент от общего состава
Бумага	19,4
Пищевые отходы	27,6
Полимерные материалы	10,8
Металл черный	4,4
Металл цветной	0,3
Стекло	13,8
Кость	2,5
Прочие	0,1
Садово-парковые	0,3
Отсев 15 мм	8,8
Камень	4,9
Кожа, резина	1,0
Дерево	1,0
Текстиль	5,1

С учетом санитарного и экологического влияния исследуемого полигона ТБО, давно превысившего лимит размещения, на окружающую природную среду очевидна необходимость его рекультивации, которая и проводится сотрудниками компании ООО «Чистая земля» с 2008 г.

Для рекультивации исследуемого полигона ТБО используются три вида органических субстратов, а именно: осадок сточных вод (ОСВ, отход МУП «Водоканал», г. Гатчина), компост завода МПБО № 2 (пос. Янино) и кофейный жмых (отход завода по производству сублимированного кофе «Крафт Фудс»). Эти субстраты являются или абсолютно новыми субстратами, не используемыми ранее при рекультивации, или традиционными субстратами, создаваемыми в настоящее время по новым технологиям и, соответственно, обладающими новыми параметрами. Примером первого типа субстратов является кофейный жмых, примером второго типа – компост ТБО, который вырабатывается после модернизации завода МПБО-2, и осадок сточных вод Гатчинского водоканала, который обрабатывается с применением новых реагентов полиакриламидов.

1.2. Методы исследования

Фитотоксичность субстратов, используемых при рекультивации полигона ТБО, определяли методом биотестирования по включенной в Федеральный реестр «Методике выполнения измерений всхожести семян и длины корней проростков высших растений для определения токсичности техногенно-загрязненных почв»⁶. В качестве тест-культур использовали семена овса и пшеницы.

Для изучения формирования растительного покрова полигона на различных типах субстратов использовался прямой метод наблюдения. Изучения растительности проводились геоботаническим методом по стандартной методике [2] с использованием общепринятых определителей [8] на пробных площадках 5 × 5 м на каждом участке с однотипным субстратом и с однородными пространственно-временными параметрами. Наблюдения за формированием растительного покрова осуществлялись параллельно на однотипных субстратах с интервалом в один год: для субстрата из кофейного жмыха – 4 года, для субстрата из компоста ТБО – 3 года, для субстрата из ОСВ – 2 года. Исключение составляет участок в 1,5 года на субстрате из компоста, который был заложен в конце вегетационного сезона предыдущего года.

В описаниях использовалась шкала обилия Браун-Бланке: г – вид очень редок, проективное покрытие незначительное; + – вид редок, проективное покрытие малое; 1 – экземпляров вида много, но проективное покрытие невелико, или экземпляры разрежены, но покрытие большое; 2 – число экземпляров вида велико, проективное покрытие от 1 до 25%; 3 – число экземпляров вида любое, проективное покрытие от 25 до 50%; 4 – число экземпляров вида любое, проективное покрытие от 50 до 75%; 5 – число экземпляров вида любое, проективное покрытие более 75%.

При определении роли флористического состава в формировании растительного покрова на исследуемых субстратах были выделены следующие комплексы по их роли в сложении региональной флоры: во-первых, представители местной флоры, включающие дикорастущие и синантропные (сорные и рудеральные) виды; во-вторых, растения культурной флоры – все виды, которые культивируются человеком с той или иной целью и в естественных условиях не способны к длительному существованию; в-третьих, заносные виды – выходцы из других регионов, находящиеся в регионе на различных стадиях акклиматизации и расселения вне культуры.

При анализе начальных стадий формирования растительного покрова учитывалась жизненная форма каждого вида и определялось соотношение жизненных форм для каждого типа субстрата и их изменение в каждом временном ряду. Выделение жизненных форм осуществлялось по традиционной схеме: деревья, кустарники, полукустарники, кустарнички, многолетние и однолетние травы.

Анализировалась таксономическая структура флористического состава, принимающего участие в формировании растительного покрова на каждом типе субстрата и ее изменение в каждом временном ряду: были определены спектры семейств, ведущих по числу видов.

Помимо этого, для выявления флористического состава осуществлялись маршрутные флористические исследования всех участков полигона, в результате были составлены списки всех произрастающих видов для каждого типа и возраста субстрата, особое внимание было уделено заносным видам.

Уровень достоверности полученных результатов оценивали по критерию Стьюдента. Для обработки полученных данных и построения диаграмм использовалась программа Microsoft Office Excel 2007.

⁶ ФР.1.39.2006.02264. (2009).

2. РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

2.1. Экотоксикологическая характеристика субстратов, использованных для биологической рекультивации

Особенности зарастания органогенных субстратов – отходов различных производств – определяются, прежде всего, их безопасностью и отсутствием токсичности для растений. Экотоксикологические характеристики субстратов были изучены методом фитотестирования с использованием двух тест-культур – овса и пшеницы. В целом семена овса оказались более чувствительными тест-объектами при выявлении вероятной фитотоксичности субстратов. Полученные результаты приведены в таблице 2.

Установлено, что все субстраты являются практически нетоксичными для высших растений на ранних стадиях развития. Единственным субстратом, обладающим умеренной фитотоксичностью, вызывающей достоверное уменьшение на 27–31% всхожести семян и овса, и пшеницы, является свежий ОСВ. Одновременно с уменьшением всхожести семян наблюдается и снижение длины корней проростков на 33–50%. Однако уже через год субстрат ОСВ полностью утрачивает фитотоксичность, и семена пророщенные на этом субстрате, не отличаются от контрольных ни по всхожести, ни по длине корней. Таким образом, при экспонировании и самозарастании субстрата ОСВ, использованного для рекультивации полигона ТБО, уже в течение первого года полностью исчезает фитотоксичность, свойственная свежему осадку.

Компост ТБО, использованный для рекультивации полигона, был нетоксичным для высших растений с первого года использования; более того, выявлена достоверная стимуляция роста корней проростков овса. Стимулирующее действие компоста сохраняется в течение двух лет, и только в последний срок наблюдения (3 года самозарастания) длина корней проростков не отличалась от контроля. Стимулирующего действия компоста ТБО на длину корней проростков пшеницы не наблюдалось.

Кофейный жмых как субстрат в первый год экспонирования обладает умеренной фитотоксичностью: не снижая всхожести семян, он, тем не менее, достоверно уменьшает длину корней проростков (на 78% у овса и на 42% у пшеницы). К четвертому году экспонирования этого субстрата степень угнетения длины корней проростков овса уменьшилась с 78 до 40%, а у проростков пшеницы длина корней не отличалась от контроля. Таким образом, степень фитотоксичности кофейного жмыха за четыре года снизилась с умеренной до слабой.

Таким образом, по результатам определения фитотоксичности все органогенные субстраты, используемые при рекультивации полигона ТБО, относятся к IV–V степени токсичности, что соответствует нормативным документами и проекту рекультивации полигона.

2.2. Растительный покров на исследуемых типах субстрата

2.2.1. Формирование растительного покрова на субстрате из кофейного жмыха

Наблюдения за формированием растительного покрова на субстрате из кофейного жмыха осуществ-

**Фитотоксичность органогенных субстратов,
используемых при рекультивации полигона ТБО***

Субстрат	Год	Всхожесть (%)		Длина корней (мм)	
		М ± m (n = 4)	Отличие от контроля (%)	М ± m (n = 4)	Отличие от контроля (%)
ОВЕС					
Контроль		98,3 ± 1,2		50,3 ± 0,9	
ОСВ	Свежий	66,8 ± 5,9	-32,0	17,1 ± 3,8	-65,0
	1 год	98,3 ± 1,2	0	49,7 ± 0,9	-1,2
	2 года	97,5 ± 1,4	-0,8	51,2 ± 0,9	+1,8
Компост ТБО	1 год	90,0 ± 4,6	-8,4	57,3 ± 0,7	+13,9
	1,5 года	96,8 ± 2,4	-1,5	67,3 ± 0,7	+34,4
	2 года	95,0 ± 2,0	-3,4	66,1 ± 0,6	+31,4
	3 года	98,0 ± 5,6	-0,3	51,4 ± 4,4	+2,2
Кофейный жмых	Свежий	93,3 ± 3,1	-5,1	11,0 ± 0,8	-78,1
	4 года	96,8 ± 2,4	-2,4	30,4 ± 3,9	-39,6
ПШЕНИЦА					
Контроль		86,8 ± 3,1	-	52,1 ± 2,8	-
ОСВ	Свежий	63,3 ± 6,2	-27,1	26,1 ± 1,5	-49,9
	1 год	80,0 ± 2,0	-7,8	48,0 ± 3,5	-7,9
	2 года	85,0 ± 3,5	-2,1	55,4 ± 0,3	+6,3
Компост ТБО	1 год	81,8 ± 1,2	-5,8	51,7 ± 1,5	-0,8
	1,5 года	88,3 ± 1,2	+1,7	59,4 ± 2,8	+14,0
	2 года	78,3 ± 5,9	-9,8	51,9 ± 2,8	-0,4
	3 года	85,0 ± 5,4	-2,1	50,3 ± 4,5	-3,4
Кофейный жмых	Свежий	85,0 ± 2,0	-2,1	30,0 ± 0,8	-42,4
	4 года	81,3 ± 3,8	м6,3	55,5 ± 2,7	+6,5

* Жирным шрифтом выделены достоверные отличия от контроля ($p < 0,05$).

лялось на четырех участках, каждый из которых был сформирован в течение четырех следующих друг за другом лет.

На субстратах из кофейного жмыха, участки которых создавались от одного до трех лет, растительный покров полностью отсутствовал (табл. 3). Только на четвертый год на субстрате из кофейного жмыха формируются небольшие заросли многолетних видов растений в микропонижениях и по окраине участка. Среди них преобладают монодоминантные куртины многолетних трав, сложенные хвощом полевым, осокой коротковолосистой, осокой желтой, осокой заячьей, тростником обыкновенным. В местах обнажений строительных отходов из бетона, использованных как твердая основа для покрытия из кофейного жмыха, встречаются куртины из мать-и-мачехи.

В этот же год начинается формирование разреженного древесно-кустарникового полога, преимущественно по периферии участка, из быстро растущих ивы козьей, осокоря (тополя черного) и тополя дельтовидного, отдельные представители которых достигают двухметровой высоты, а также более низких единичных сеянцев яблони садовой. Однако большинство экземпляров древесных видов по высоте не отличаются от видов травяного яруса.

Общее проективное покрытие растительного покрова участка, покрытого четырехлетним кофейным жмыхом, очень низкое и в целом не превышает 10% (табл. 3).

На начальном этапе исследования формирования биоценозов на субстрате из кофейного жмыха можно отметить следующие основные особенности образования его растительного покрова.

Формирование растительного покрова происходит в основном многолетними растениями дикорастущих видов естественной флоры северо-запада Восточной Европы (рис. 1); в частности, наиболее заметная роль принадлежит хвощу полемому и некоторым видам осок, преимущественно произрастающих на лугах.

Синантропные виды представлены немногочисленными особями многолетних растений, в частности полынью обыкновенной и бодяком щетинистым, и, единично, однолетней травой горцем развесистым.

Отмечены немногочисленные экземпляры сеянцев культурных деревьев, а именно яблони культурной и тополя дельтовидного.

Одна куртина на периферии площадки была образована заносным североамериканским многолетником золотарником канадским, который активно расселяется в регионе, начиная с 1990-х гг. по настоящее время.

В целом для зарастания субстрата из кофейного жмыха характерны крайне низкие темпы формирования растительного покрова, начинающегося только на четвертый год, причем общее проективное покрытие участка в целом не превышает 10%. Помимо этого, здесь происходит формирование одновременно и травяного покрова, и древесно-кустарникового полога.

**Видовой состав высших сосудистых растений
на субстратах из кофейного жмыха, компоста ТБО и осадка сточных вод (ОСВ)**
(Условные обозначения: т – травяной ярус, к – кустарниковый ярус)

Названия видов		Субстрат		
Русские	Латинские	Кофейный жмых	Компост ТБО	ОСВ
Арбуз обыкновенный	<i>Citrullus lanatus</i> (Thunb.) Matsum. et Nakai		т	
Береза бородавчатая	<i>Betula pendula</i> Roth		т	к
Бодяк огородный	<i>Cirsium oleraceum</i> (L.) Scop.	т		
Бодяк полевой	<i>Cirsium arvense</i> (L.) Scop.			т
Бодяк щетинистый	<i>Cirsium setosum</i> (Willd.) Bess	т		т
Бузина обыкновенная	<i>Sambucus racemosa</i> L.		т	т
Вейник тростниковидный	<i>Calamagrostis phragmitoides</i> Hartm.	т	т	т
Вейник тростниковидный извилистый	<i>Calamagrostis phragmitoides</i> var. <i>flexuosa</i> (Rupr.) Tzvel.		т	
Вьюнок полевой	<i>Convolvulus arvensis</i> L.		т	
Горец перечный	<i>Persicaria hydropiper</i> (L.) Spach	т		
Горец развесистый	<i>Persicaria lapathifolia</i> (L.) S.F.Gray	т		
Гречишка вьюнковая	<i>Fallopia convolvulus</i> (L.) A. Löve		т	
Гулявник Лёзеля	<i>Sisymbrium loeselii</i> L.		т	
Гулявница лекарственная	<i>Velarium officinale</i> (L.) Reichb.		т	
Дыня столовая	<i>Cucumis melo</i> L.		т	
Ежовник обыкновенный	<i>Echinochloa crusgalli</i> (L.) Beauv.		т	
Желтушник лакфиолевый	<i>Erysimum cheiranthoides</i> L.		т	
Звездчатка дубравная	<i>Stellaria nemorum</i> L.			т
Звездчатка средняя	<i>Stellaria media</i> L.			т
Золотарник канадский	<i>Solidago canadensis</i> L.	т		
Ива козья	<i>Salix caprea</i> L.	к, т	т	
Иван-чай узколистый	<i>Chamaenerion angustifolium</i> (L.) Scop.		т	
Камыш лесной	<i>Scirpus sylvaticus</i> L.	т		т
Канатник Теофраста	<i>Abutilon theophrastii</i> Medik.		т	
Клевер горный	<i>Trifolium montanum</i> L.		т	
Клевер средний	<i>Trifolium medium</i> L.	т		
Крапива двудомная	<i>Urtica dioica</i> L.		т	т
Крестовник обыкновенный	<i>Senecio vulgaris</i> L.		т	
Лебеда лоснящаяся	<i>Atriplex sagittata</i> Borkh.		т	
Лебеда раскидистая	<i>Atriplex patula</i> L.		т	
Лебеда садовая	<i>Atriplex hortensis</i> L.		т	
Лопух войлочный	<i>Arctium tomentosum</i> Mill.			т
Марь белая	<i>Chenopodium album</i> L.		т	
Марь городская	<i>Chenopodium urbicum</i> L.		т	
Марь красная	<i>Chenopodium rubrum</i> L.		т	

Мать-и-мачеха	<i>Tussilago farfara</i> L.	т	т	
Мелколепестничек канадский	<i>Conyza canadensis</i> (L.) Cronq.		т	
Мятлик обыкновенный	<i>Poa trivialis</i> L.			т
Никандра физалисовидная	<i>Nicandra physaloides</i> (L.) Gaertn.		т	
Одуванчик обыкновенный	<i>Taraxacum officinale</i> Wigg.	т	т	т
Осина обыкновенная	<i>Populus tremula</i> L.		т	
Осока желтая	<i>Carex flava</i> L.	т		
Осока заячья	<i>Carex leporina</i> L.	т		
Осока коротковолосистая	<i>Carex hirta</i> L.	т		
Осока сероватая	<i>Carex canescens</i> L.	т		
Осот полевой	<i>Sonchus arvensis</i> L.		т	
Паслен сладко-горький	<i>Solanum dulcamara</i> L.		т	т
Паслен черный	<i>Solanum nigra</i> L.		т	
Пижма обыкновенная	<i>Tanacetum vulgare</i> L.	т	т	т
Подмаренник мягкий	<i>Galium mollugo</i> L.	т		
Подсолнечник однолетний	<i>Helianthus annuus</i> L.		т	
Полынь обыкновенная	<i>Artemisia vulgaris</i> L.	т	т	т
Полынь полевая	<i>Artemisia campestris</i> L.		т	
Просо посевное	<i>Panicum miliaceum</i> L.		т	
Томат мелкоплодный	<i>Lycopersicon galeni</i> Mill.		т	т
Тополь дельтовидный	<i>Populus deltoides</i> Marsh.	к, т		
Тополь черный, осокорь	<i>Populus nigra</i> L.	к, т		
Тростник обыкновенный	<i>Phragmites australis</i> (Cav.) Trin. ex Steud.	т	т	т
Тыква обыкновенная, кабачки	<i>Cucurbita pepo</i> L.		т	
Тыква крупноплодная	<i>Cucurbita maxima</i> Duch.		т	
Тысячелистник обыкновенный	<i>Achillea millefolium</i> L.		т	
Физалис липкоплодный, ф. овощной	<i>Physalis ixocarpa</i> Brot.		т	
Физалис пушистый, ф. земляничный	<i>Physalis pubescens</i> L.		т	
Хвощ полевой	<i>Equisetum arvense</i> L.	т		
Хрен обыкновенный	<i>Armoracia rusticana</i> Gaertn., Mey. et Scherb.		т	
Цикорий обыкновенный	<i>Cichorium intybus</i> L.			т
Черемуха обыкновенная	<i>Padus avium</i> Mill.			к
Черноплодная рябина	<i>Aronia mitschurinii</i> Skvorts. et Maitul.		т	
Чертополох курчавый	<i>Carduus crispus</i> L.		т	
Чистотел большой	<i>Chelidonium majus</i> L.			т
Щирица запрокинутая	<i>Amaranthus retroflexus</i> L.		т	
Энотера красностебельная	<i>Oenothera rubricaulis</i> Klebahn	т		
Яблоня садовая	<i>Malus domestica</i> Borkh.	к, т	т	
Яблоня лесная	<i>Malus sylvestris</i> Mill.		т	
ОБЩЕЕ ПРОЕКТИВНОЕ ПОКРЫТИЕ	1-й год наблюдения	0	30%	20%
	1,5-й год наблюдения	—	40%	—
	2-й год наблюдения	0	50%	100%
	3-й год наблюдения	0	60%	—
	4-й год наблюдения	10%	—	—

На начальном этапе зарастания образуется фрагментарная структура растительного покрова в виде небольших монодоминантных куртин из многолетних видов травяного яруса в микропонижениях и небольших групп деревьев, не превышающих по высоте кустарниковый ярус, по периферии площадки.

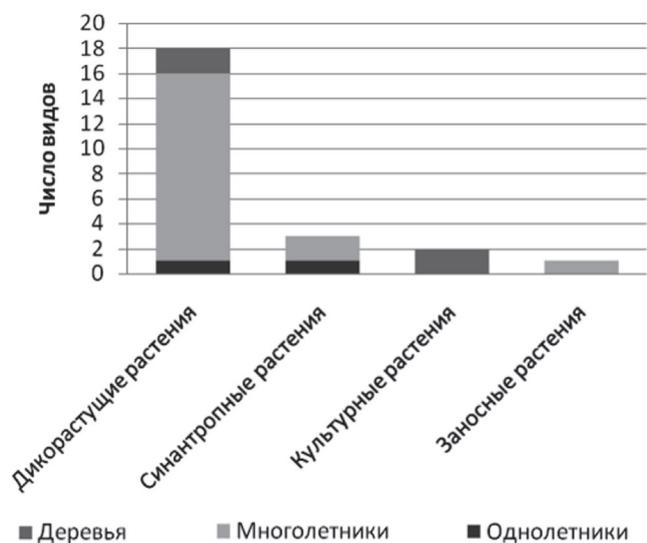


Рис. 1. Соотношения жизненных форм основных групп высших сосудистых растений начального этапа формирования растительного покрова на субстрате из кофейного жмыха

2.2.2. Формирование растительного покрова на субстрате из компоста ТБО

Наблюдения за формированием растительного покрова на компосте ТБО осуществлялись на четырех участках, составляющих трехлетний временной ряд. Один из участков был заложен в конце вегетационного сезона 2012 г., поэтому он обозначается как полуторалетний (1,5 года).

Формирование растительного покрова на участке, покрытом субстратом из компоста, начинается уже с первого года (табл. 3). На протяжении трех лет фрагментарное травянистое покрытие становится все более равномерным, а его общее проективное покрытие ежегодно возрастает (рис. 2).

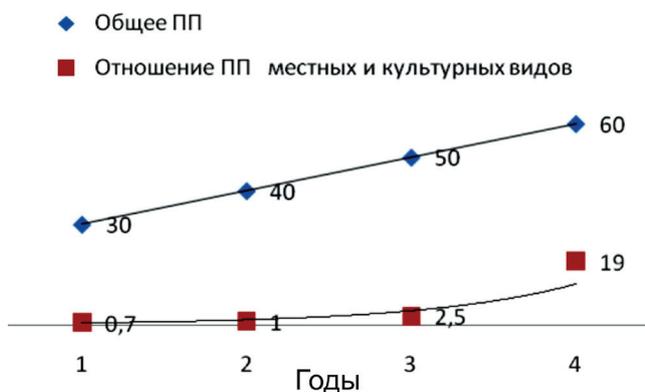


Рис. 2. Тренды изменения общего проективного покрытия растительного покрова (Общее ПП) и роли видов местной и культурной флоры на участках, покрытых субстратом из компоста ТБО, в сложении проективного покрытия (ПП)

В самом начале зарастания ведущая роль в формировании травяного покрова принадлежит исключительно культурным растениям (томаты, тыквы, физалисы), семена которых содержались в компосте, а в последующие годы в сложении растительного покрова стремительно усиливается роль представителей местной флоры, преимущественно сорно-полевых и рудеральных видов (марь, лебеда, крапива, полынь и др.). Можно предположить, что в следующих сезонах тренд изменения соотношения проективного покрытия местных и культурных видов на субстратах из компоста будет соответствовать экспоненте, приведенной на рис. 2.

В целом видовое разнообразие растений на зарастающем субстрате из компоста увеличивается и, очевидно, будет в дальнейшем возрастать (рис. 3).

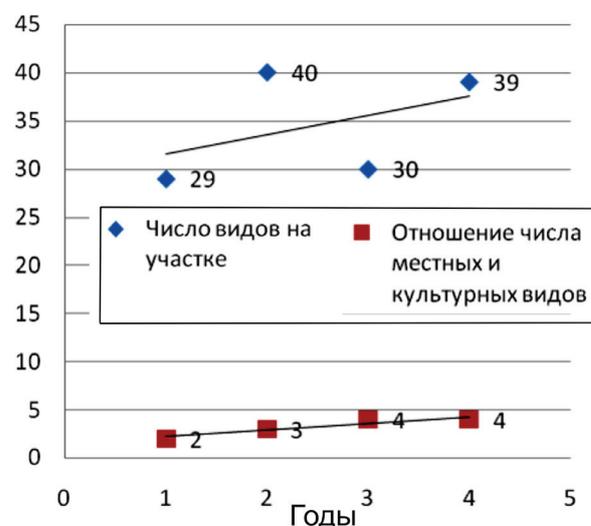


Рис. 3. Тренды изменения численности видов, соотношения числа видов местной и культурной флоры на участках, покрытых субстратом из компоста ТБО

В первый год существования участка в видовом составе преобладают культурные растения: виды из семейств пасленовых (томат съедобный, томат мелкоплодный, физалис овощной, физалис земляничный), тыквенных (тыква обыкновенная, тыква крупноплодная, арбуз обыкновенный, дыня столовая) и сложноцветных (салат посевной, подсолнечник однолетний) (рис. 4).

В дальнейшем их роль изменяется (рис. 5) в противоположном направлении: видовое разнообразие сложноцветных возрастает за счет увеличения числа видов местной флоры (осот полевой, чертополох курчавый) при сохранении почти всех видов, отмеченных в первый год. Следует подчеркнуть, что большинство видов сложноцветных, выросших на участке первого года, являются представителями местной флоры (одуванчик лекарственный, тысячелистник обыкновенный, пижма обыкновенная, полынь обыкновенная и др.), роль которых в сложении растительного покрова в последующие годы только усиливается.

Иная судьба у представителей культурной флоры (рис. 5 и 6): более теплолюбивые виды семейств пасленовых и тыквенных исчезают уже на второй год (физалис земляничный, арбуз обыкновенный, дыня столовая), а у остальных существенно снижается роль в сложении растительного покрова.

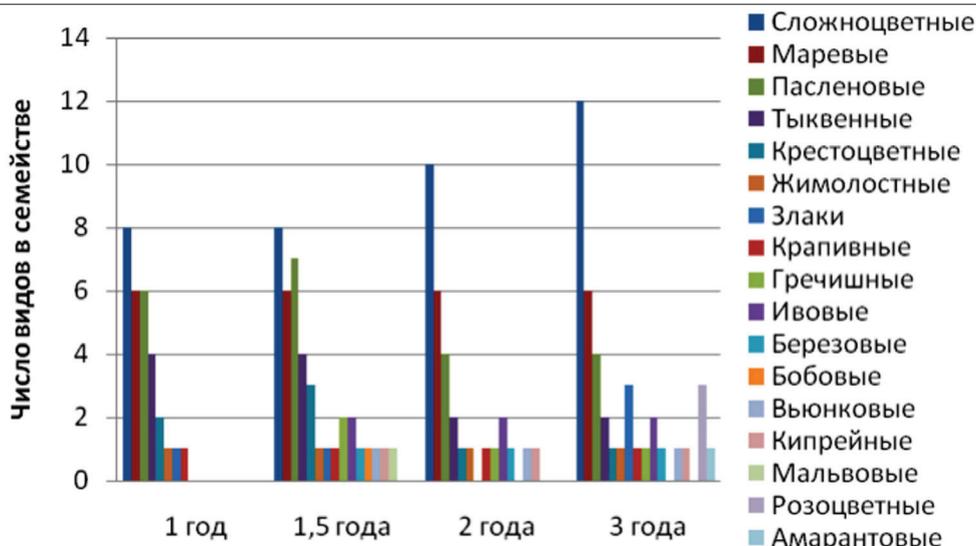


Рис. 4*. Флористический состав участков временного ряда зарастания субстрата из компоста ТБО
 * ПРИМЕЧАНИЕ. Полноцветная версия этого и других рисунков доступна в электронной версии статьи.

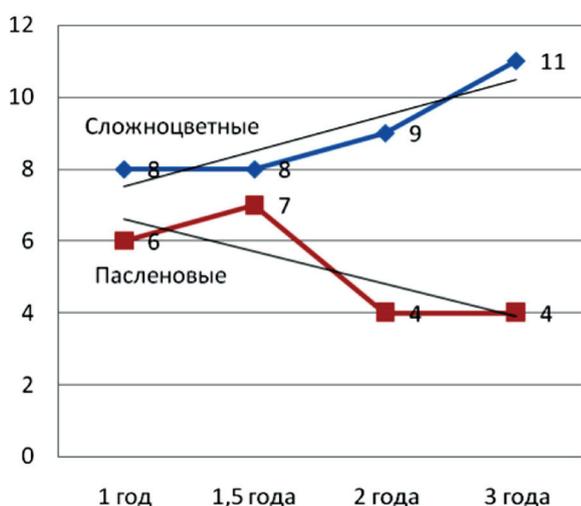


Рис. 5. Тренды видового разнообразия в семействах сложноцветных и пасленовых за трехлетний период зарастания субстрата из компоста ТБО

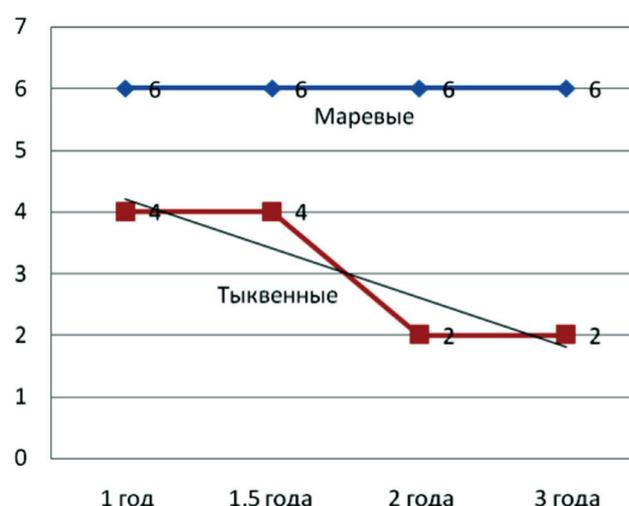


Рис. 6. Тренды видового разнообразия в семействах маревых и тыквенных за трехлетний период зарастания субстрата из компоста ТБО

В то же время другой путь у представителей семейства маревых (рис. 6). Все виды этого семейства (марь белая, лебеда лоснящаяся и др.), отмеченные на полигоне, относятся к синантропным представителям местной флоры. Их видовое разнообразие сохраняется на одном уровне, но роль в сложении растительного покрова существенно возрастает.

Как уже отмечалось выше, в формировании растительного покрова полигона принимают участие растения как культурной, так и местной флоры (в ее составе дикорастущие и синантропные виды). Помимо этого, отмечены два вида (никандра физалисовидная и канатник Теофраста), которые являются заносными растениями, более требовательными к теплу сорняками субтропических культур.

Никандра физалисовидная – однолетнее растение из семейства пасленовых, происходит из Южной Америки, как сорняк встречается в южных районах умеренно теплой и субтропической зоны Евразии, во многих странах культивируется как декоративное растение [5]. В нашем регионе она встречается редко

и единично. Ее плоды внешне очень похожи на плоды физалиса овощного, но в отличие от него ядовиты [8]. На полигоне к концу вегетационного сезона 2013 г. плоды никандры полностью созрели, поэтому есть вероятность сохранения этого вида в составе растительного покрова полигона.

Канатник Теофраста из семейства мальвовых также является однолетником. Это широко распространенный сорняк в южных районах умеренно теплой зоны, в тропиках и субтропиках обоих полушарий, в нашем регионе является исключительно заносным растением [3]. На полигоне его плоды не смогли полностью сформироваться, поэтому его появление в последующие годы маловероятно.

В естественной растительности региона господствуют лесные сообщества с ведущей ролью деревьев среди жизненных форм. В этой связи интересно проследить структуру жизненных форм растительного покрова на субстрате из компоста с самых первых фаз его формирования (рис. 7). На всех участках с компостом все представители древесных и кустар-

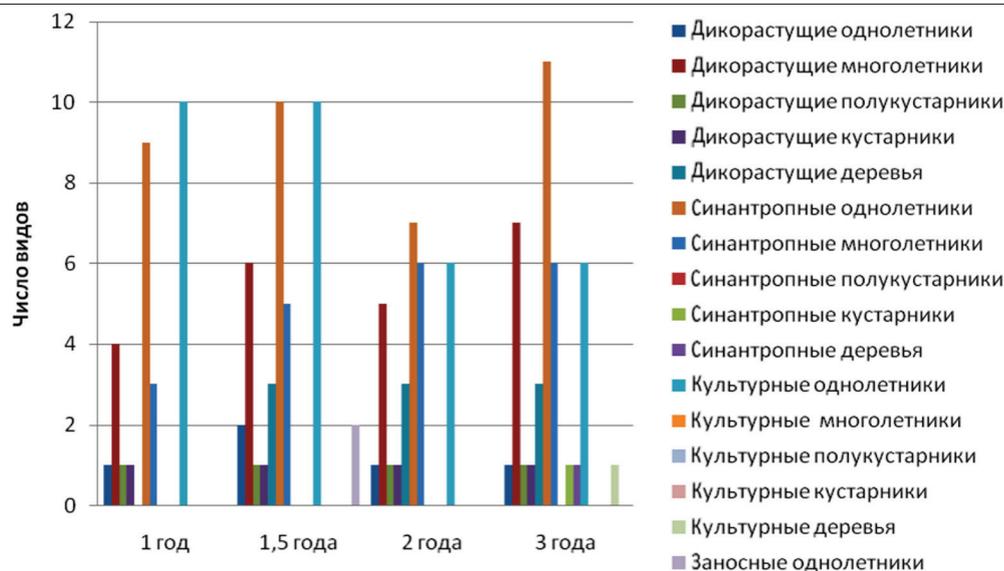


Рис. 7. Жизненные формы основных групп высших сосудистых растений трехлетнего ряда формирования растительного покрова на субстрате из компоста ТБО

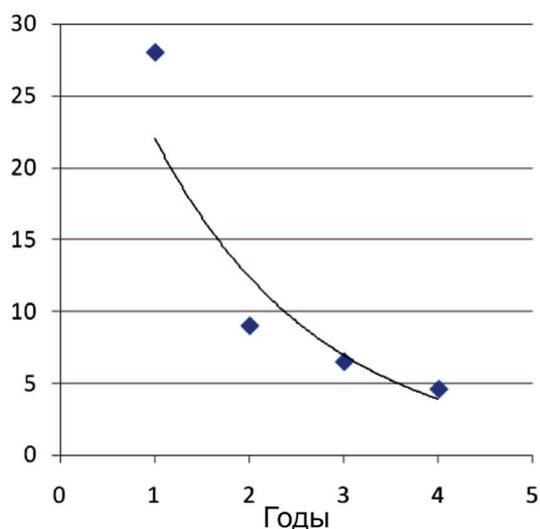


Рис. 8. Тренд отношения травянистых и древесно-кустарниковых форм трехлетнего ряда формирования растительного покрова на субстрате из компоста ТБО

никовых форм пока еще не превышают по высоте уровень травяного яруса, достигающего максимальной высоты 1–1,5 м на третий год, то есть за трехлетний период формирование кустарникового яруса, а тем более древесного, не происходит. В то же время представители кустарниковых и древесных форм есть среди как местных (береза бородавчатая, ива козья, осина обыкновенная), так и культурных (яблоня садовая, черноплодная рябина) видов. Следует подчеркнуть, что уже в течение трехлетнего периода происходит изменение соотношения травянистых и древесно-кустарниковых в пользу последних (рис. 8), особенно заметное на второй год.

Таким образом, за три года на субстрате из компоста формируется растительный покров, который из фрагментарного становится все более развитым и равномерным; в его видовом составе происходит постепенное вытеснение культурных растений видами местной флоры, преимущественно синантропного характера. В то же время пока еще на уровне травяного яруса происходит развитие сеянцев деревьев и

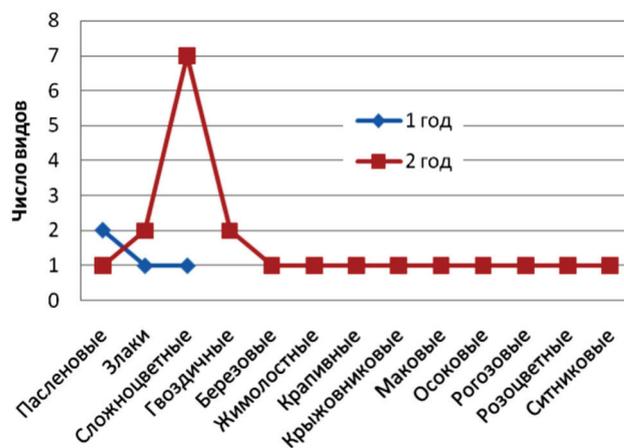


Рис. 9. Флористический состав участков первого и второго годов зарастания субстрата из ОСВ

кустарников, способных в дальнейшем к образованию древесно-кустарникового полога из лиственных деревьев и кустарников.

2.2.3. Формирование растительного покрова на субстрате из ОСВ

Наблюдения за развитием растительного покрова на субстрате из ОСВ осуществлялось на участках первого и второго годов формирования (табл. 3).

Зарастание субстрата из ОСВ в первый год формирования растительного покрова происходит исключительно за счет культурных растений, а именно томата съедобного (помидора) и томата мелкоплодного из семейства пасленовых, семена которых сохраняются в осадке сточных вод. Роль остальных видов крайне незначительная: они малочисленны, и их доля в проективном покрытии ничтожна. В первый год только пятая часть участка с субстратом из ОСВ покрыта растительностью, что заметно меньше, чем на одновременном с ним участке с субстратом из компоста.

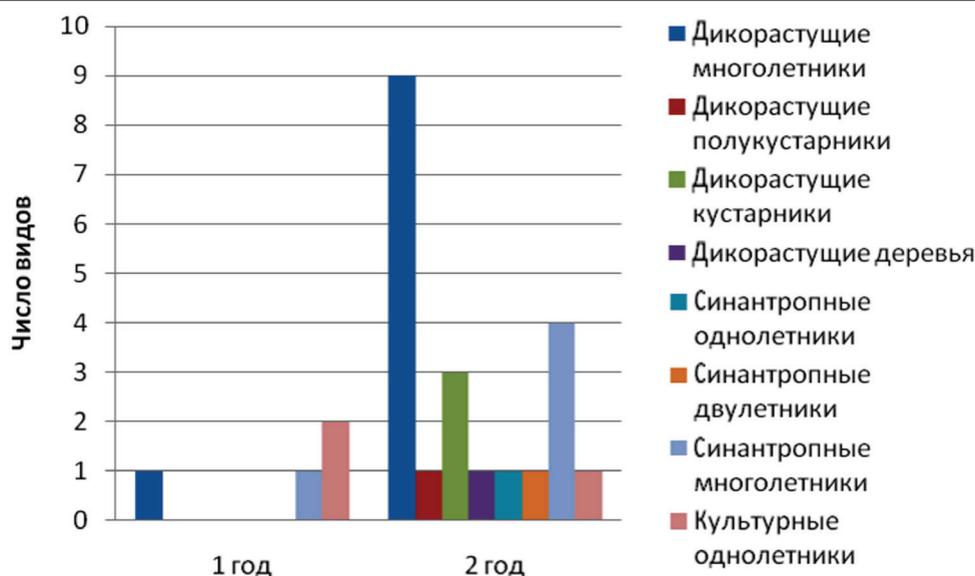


Рис. 10. Жизненные формы основных групп высших сосудистых растений двулетнего ряда формирования растительного покрова на субстрате из ОСВ

На второй год ситуация кардинально изменяется: участок полностью покрывается растительностью с общим проективным покрытием до 100%, причем растительный покров формируется видами местной флоры при почти полном отсутствии культурных растений, а его видовой состав более разнообразен (рис. 9). Состав жизненных форм усложняется, появляются древесные и кустарниковые формы (рис. 10), однако только их единичные представители выделяются по своим размерам из травяного яруса, который представлен высокотравьем.

Заключение

Подводя итог рассмотрению начала формирования растительного покрова на различных субстратах, использованных для рекультивации полигона, отметим следующее.

1. Все органогенные субстраты, используемые при рекультивации полигона ТБО, являются или умеренно токсичными, или полностью нетоксичными для высших растений:

а) ОСВ в свежем состоянии обладает умеренной фитотоксичностью, которая полностью устраняется в течение первого года зарастания;

б) кофейный жмых умеренно токсичен для ранних фаз развития высших растений, и за четыре года зарастания степень его фитотоксичности снижается от умеренной до слабой;

в) компост ТБО полностью нетоксичен и, более того, оказывает стимулирующее действие на длину корней проростков.

Эти свойства исследованных субстратов обуславливают целесообразность их использования в каче-

стве плодородного слоя для проведения биологического этапа рекультивации.

2. Самые низкие темпы зарастания характерны для субстрата из кофейного жмыха, формирование растительного покрова которого начинается только на четвертый год, причем его общее проективное покрытие едва достигает 10%.

3. Самые высокие темпы зарастания характерны для субстрата из ОСВ: на второй год общее проективное покрытие растительного покрова составляет 100%.

4. Как правило, уже в самом начале формирования растительного покрова в травяном ярусе появляются сеянцы деревьев и кустарников, среди которых представлены как виды местной флоры (береза, осина, ива, осокорь и др.), так и представители культурной флоры (яблоня, черноплодная рябина и др.).

5. Только на субстрате из кофейного жмыха ведущие роли в сложении растительного покрова принадлежат дикорастущим видам местной флоры.

6. Субстраты, используемые для рекультивации полигона, могут служить стартовыми площадками для внедрения новых или редких для региона заносных видов, впоследствии имеющих шансы включиться в состав синантропной флоры как сорные и рудеральные виды. В этой связи требуются регулярные мониторинговые исследования формирования растительного покрова вплоть до хорошо развитых конкурентоспособных систем с сомкнутым древесно-кустарниковым пологом и травяно-кустарничковым покровом из многолетних растений дикорастущих видов местной флоры.

Литература

1. Колычев Н.А. Оптимизация обращения с твердыми бытовыми и близкими к ним по составу промышленными отходами в крупных и средних населенных пунктах России //

Биосфера. – 2013. – Т. 5. – С. 393–418.

2. Миркин Б.М., Наумова Л.Г., Соломещ А.И. Современная наука о растительности. – М. : Логос, 2002. – 263 с.

