

УДК 631.432

ВОДНО-ФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА СУБСТРАТОВ НА ОСНОВЕ ТОРФА И КОМПСТИРОВАННЫХ ОТХОДОВ АКТИВНОГО ИЛА АРХАНГЕЛЬСКОГО ЦЕЛЛЮЛОЗНО-БУМАЖНОГО КОМБИНАТА

Наквасина Е.Н., Никитина М.В., Коптев С.В., Сунгурова Н.Р., Игамбердиева А.А.

ФГАОУ ВО «Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова»,
Архангельск, e-mail: nakvasina@yandex.ru

В статье приводятся результаты исследований по подбору компонентного состава субстратов на основе верхового торфа и компстированных отходов активного ила (биогумус «Архангельский») с предприятий Архангельского ЦБК, сравнение их водно-физических и агрохимических свойств с производственными аналогами, применяемыми в лесных тепличных комплексах Архангельской области. Изучены композиции субстратов на основе торфа и отходов активного ила (по объему используемых фракций) по следующим вариантам: контроли (100% торф и 100% ил), 10% ил + 90% торф, 20% ил + 80% торф... 70% ил + 30% торф (всего 7 вариантов с градацией ила 10%). Определены водно-физические свойства субстратов: плотность сухого торфа; истинная плотность; пористость; водопоглощение (2 ч и 48 ч); полная влагоемкость. Установлено, что градиентные добавки активного ила к верховому торфу резко повышают истинную плотность и насыпную плотность сложения субстрата. Наиболее близки показатели к эталонным субстратам: по плотности сложения – при 20–30% ила, по истинной плотности – при 30–70% ила в композиции. Формируемые субстраты по пористости (80–91%) достаточно близки к эталонным субстратам (88–93%). Добавка даже 10% ила с низкой способностью к влагоудержанию резко снижает влагоемкость комбинированного субстрата (в 2 раза). Соотношение ила и торфа в субстрате 1:1 способствует переводу водных свойств композиционного субстрата ближе к свойствам ила, отличающегося меньшей влагоемкостью, по сравнению с торфом. Подсушивание субстрата при его использовании в теплицах может вызвать необходимость регулирования поливной нормы. В дальнейшем эксперименты по подбору композиций субстратов следует продолжить с точки зрения эколого-токсикологических свойств (содержание тяжелых металлов и патогенов).

Ключевые слова: субстраты, торф, отходы активного ила, плотность, влагоемкость, кислотность, питательные вещества

Исследования проводились при финансировании НОЦ «Русская Арктика: современные материалы, методы, технологии», Подпроект 4 «Исследования и подбор оптимального состава субстрата (грунта) для выращивания саженцев (сеянцев) хвойных пород применительно к условиям лесовосстановления на лесосырьевой базе предприятий ООО ПКП «Титан» и АО «Архангельский ЦБК».

WATER-PHYSICAL PROPERTIES OF SUBSTRATES PREPARED ON PEAT AND COMPOSTED ACTIVE SLUDGE WASTE OF THE ARKHANGELSK PULP AND PAPER MILL

Nakvasina E.N., Nikitina M.V., Koptev S.V., Sungurova N.R., Igamberdieva A.A.

Northern Arctic Federal University named after M.V. Lomonosov, Arkhangelsk,
e-mail: nakvasina@yandex.ru

The article deals with the results of the selection the component composition of substrates prepared on the high-moor peat and composted activated sludge waste (biohumus "Arkhangelsk") from the Arkhangelsk pulp and paper mill, a comparison of their water-physical and agrochemical properties with industrial analogues used in forest greenhouse complexes of the Arkhangelsk region. The compositions of substrates prepared on peat and sludge (according to the volume of fractions) were studied for the following options: controls (100% peat and 100% sludge), 10% sludge + 90% peat, 20% sludge + 80% peat 70% sludge + 30% peat (total 7 variants with 10% sludge grade). The water-physical properties were determined: the density of dry peat, true density, porosity, water absorption (2 hours and 48 hours), full moisture content. Gradient additives of sludge to high-moor peat sharply increase the true and bulk density of the substrate. The parameters are closest to the reference substrates: bulk density – at 20–30% sludge, true density – at 30–70% sludge. The formed substrates in porosity (80–91%) are quite close to the reference substrates (88–93%). The addition 10% of sludge with a low water retention capacity sharply reduces the moisture capacity of the combined substrate (by 2 times). The 1:1 ratio of sludge and peat contributes water properties transition of the composite substrate closer to the properties of sludge, which has a lower moisture capacity compared to peat. The substrate drying in greenhouses may necessitate the need to adjust the irrigation rate. In the future, experiments on the substrate compositions selection should be continued from the ecological and toxicological properties (the content of trace metals and pathogens).

Keywords: substrates, peat, activated sludge waste, density, moisture capacity, acidity, nutrients

Осадок сточных вод, неизбежный побочный продукт работы городских очистных сооружений, является ключевой проблемой во многих странах, в том числе в России, из-за его растущего объема и последствий,

связанных с его удалением [1–3]. Согласно отчету Европейской комиссии, опубликованному в 2010 г., 39% осадка сточных вод, производимого в Европейском союзе, перерабатывается в сельском хозяйстве. Одна-

ко в настоящее время во многих странах хранение подобных отходов на свалках запрещено, поэтому крайне важно найти альтернативные решения, экономически целесообразные и безвредные для окружающей среды [4]. В России осадки сточных вод подлежат утилизации сжиганием (приказ Роспотребнадзора № 629, 2019 г.), без организации длительного хранения осадков.

Проблема использования отходов сточных вод очистных сооружений (ЦБК, городских и др.) поднималась неоднократно, принимая во внимание, что в них содержатся полезные вещества для роста растений [3–5]. Во всех случаях речь шла о повышении плодородия почв и компостировании. Разработан Национальный стандарт РФ «Технические принципы обработки осадков сточных вод. Общие требования», в котором даны общие требования к осадкам, применяемым в качестве органических или органо-минеральных удобрений, для рекультивации земель и при размещении на полигонах [6]. Считается, что использование осадка сточных вод не только помогает устранить проблемы, создаваемые накоплением все большего количества осадка, но также приводит к уменьшению количества химических удобрений, которые должны были использоваться для обеспечения роста растений, в определенной мере может заменить органические удобрения [4].

При этом существуют различные возможности получения и применения органических удобрений на основе отработанного активного ила. Активный ил смешивают с другими удобрениями, компостируют, что впоследствии оказывает положительное влияние на рост растений. Несомненно, что при использовании активного ила в качестве удобрений необходимо соблюдать требования санитарно-гигиенических норм, так как главный недостаток применения и удобрений, и компостов на основе отходов активного ила – необходимость контролировать содержание тяжелых металлов (ТМ) и токсикантов, которые могут накапливаться в почве и переходить в ткани растений, вызывая торможение роста, хлороз и нарушение водного обмена. В то же время считается, что опасность попадания ТМ в грунтовые воды невелика ввиду низкой растворимости их соединений [1], особенно это имеет отношение к тепличным грунтам и при использовании доли отработанного ила при приготовлении субстратов. Для обеззараживания важна выдержка отходов активного ила, применяемых для удобрения

и компостирования, на иловых картах [7, 8]. Полученный химическим и механическим способом ил можно применять в сельском хозяйстве при смешивании с почвой, торфом и др. [9].

В зоне действия предприятий целлюлозно-бумажной промышленности интерес привлекает использование отходов активного ила для выращивания посадочного материала хвойных пород в тепличных комплексах. Это относится и к Архангельскому ЦБК, который инициировал создание нового Селекционного центра с тепличным комплексом в районе г. Новодвинск Архангельской области. Ранее под эгидой комбината «Биолаборатория», (Архангельск, Г.А. Иванов) проведены экологические исследования и подготовлен регламент (срок действия 2014–2024 гг.) на производство и использование биогумуса «Архангельский», в основе которого использованы осадки сточных вод АЦБК. Отходы активного ила АЦБК относятся к веществам 5 класса опасности (Протокол 10-БО от 23.04. 2018 г.), яйца гельминтов отсутствуют (Протокол лабораторных испытаний от 2021 г.).

Для подготовки собственных субстратов для тепличного комплекса был выбран вариант смешивания биогумуса «Архангельский» с верховым торфом, заготавливаемым с месторождений региона. В Архангельской области сосредоточена четверть промышленных запасов торфа европейской части России [10], что позволяет вести промышленную разработку запасов торфа для различных направлений использования, одним из которых является лесное хозяйство. Преобладают болота верхового типа (более 80%), торф которых пригоден для приготовления компостов и питательных грунтов согласно требованиям соответствующих стандартов [11], что подтверждено исследованиями по структуре, свойствам и гумифицирующим веществам [12].

При использовании малообъемных технологий выращивания требования, предъявляемые к среде выращивания, значительно более жесткие, чем в открытом грунте, где имеются возможности для роста корней в неограниченном объеме почвы [13]. Это связано с необходимостью развития корневых систем сеянцев в малом объеме грунта. Поэтому следует учитывать весь комплекс физико-химических свойств, не только таких, как наличие компонентов минерального питания (NPK и микроэлементы), но и таких, как влагоемкость, плотность субстрата, что обеспечит водно-воздушный

режим и устойчивость комка, в том числе при посадке на лесокультурную площадь.

Цель исследований состояла в подборе компонентного состава субстратов на основе торфа и компостированных отходов активного ила (биогумус «Архангельский») с предприятий АЦБК, сравнение их водно-физических свойств с производственными аналогами, применяемыми в лесных тепличных комплексах Архангельской области.

Материалы и методы исследования

Для проведения исследований по изучению водно-физических свойств комбинаций субстратов на основе торфа и биогумуса из отходов активного ила АЦБК был использован торф, заготовленный с глубины торфяной залежи 40–80 см на торфяном болоте верхового типа в Приморском районе Архангельской области; степень разложения торфа 15 %. Торф был высушен и размолот с применением дробилки ТермМикс до фракций не более 0,5 см, достаточной для корректного применения при постановке вегетационных опытов с комбинированными субстратами. Мелкие фракции торфа позволяют провести равномерное смешение фракций (торф, ил и др.).

Одновременно были проведены сушка и размол действующего биогенного компонента субстрата (биогумус «Архангельский», далее для краткости обозначенный как «ил») на основе отходов активного ила с очистных сооружений АЦБК. Составлены композиции субстратов на основе торфа и отходов активного ила (по объему используемых фракций) по следующим вариантам: контроль (100 % торф и 100 % ил), 10 % ил + 90 % торф, 20 % ил + 80 % торф ... 70 % ил + 30 % торф (всего 7 вариантов с градацией ила 10 %). Для сравнения были подобраны пять образцов промышленных субстратов фирм Велторф, Pindstrup, Kekkilä, используемых в лесных тепличных комплексах региона.

Водно-физические свойства субстратов изучали в лаборатории почвоведения САФУ по общепринятым методам с определением показателей, характерных для оценки торфов и торфяных субстратов [14]: плотность сухого торфа; плотность сухого вещества торфа (истинная плотность); пористость; водопоглощение (на 2 ч и 48 ч); полная влагоемкость.

В анализах (2–7 повторностей каждого показателя) использовали субстрат с частями менее 2 мм.

Плотность субстрата – масса единицы объема в абс. сухом состоянии ($\text{г}/\text{см}^3$) опре-

деляли насыпным способом, с использованием металлического кольца с известным объемом. Расчет плотности проводили общепринятыми способами.

Истинную плотность (плотность частиц) определяли пикнометрическим методом, используя соотношение торфа/ субстрата и воды в пикнометре из расчета не более $5 \text{ г} : 100 \text{ см}^3$. Для удаления воздуха проводили кипячение. Одновременно определяли содержание гигроскопической влаги в субстрате, что необходимо для расчетов истинной плотности. Использовали стеклянные бюксы с навеской субстрата 1–3 г.

По показателям плотность и истинная плотность рассчитали пористость субстрата общепринятыми в почвоведении способами и коэффициент пористости (истинная плотность минус плотность сложения в естественном абс. сухом состоянии, деленная на плотность сложения в естественном абс. сухом состоянии).

Используя цилиндры с сетчатым дном, определили водопоглощаемость (водопоглощение) – способность торфа поглощать и удерживать воду, через 2 ч и 48 ч, что соответствует максимальной водопоглощаемости торфа. После пребывания торфа в воде (48 ч) ей давали свободно стечь в течение 3–5 ч и взвешиванием определяли количество впитанной воды после оттока/фильтрации, что соответствовало полной влагоемкости.

Результаты исследования и их обсуждение

Основные показатели водно-физических свойств композиций субстратов на основе верхового (белого) торфа и компостированных отходов активного ила представлены в таблице.

Композиционные материалы значительно (в 2 раза) отличаются по физическим свойствам (насыпной плотности, истинной плотности). Различия по водным свойствам (влагонакопление и влагоудержание) проявляются еще резче (6–8 раз). Оба компонента отличаются высокой пористостью: торф – 94 %, биогумус – 74 %.

Это сказывается не только на водных свойствах (удержание влаги, в том числе при поливе), но и при смешивании сухих субстратов с разной долей участия компонентов: происходит расслаивание компонентов, что нарушает композиционное строение формируемого субстрата. Необходимо проверять подобные вариации при смешивании субстратов в «сыром» состоянии в производственных условиях.

Физические свойства субстратов (композиций)
на основе торфа и отходов активного ила

Вариант	Плотность сложения, г/см ³	Истинная плотность, г/см ³	Влагоемкость, %			Пористость, %	Коэффициент пористости
			2 ч	48 ч	После оттока (полная полевая)		
Контроль (торф)	0,046±0,003	0,768	1349,1	1795,0	1778,6	94,0	15,70
10% ила	0,076±0,001	0,875	715,2	939,7	931,5	91,3	10,51
20% ила	0,137±0,003	0,938	627,8	721,5	714,5	85,4	5,85
30% ила	0,188±0,004	1,157	413,5	484,8	480,5	83,8	5,15
40% ила	0,213±0,002	1,245	351,9	389,2	386,4	81,5	4,85
50% ила	0,230±0,006	1,371	348,0	374,8	372,0	83,2	4,96
60% ила	0,282±0,003	1,487	311,0	326,1	323,1	81,0	4,27
70% ила	0,297±0,007	1,550	285,7	296,9	294,4	80,8	4,22
100% ила	0,381±0,001	1,440	190,02	228,9	227,0	73,5	2,78
Промышленные субстраты (n = 5)	0,119–0,176	1,30–1,57	405–536	510–751	503–725	88–93	7,1–13,6

При добавке активного ила в торф с градицией 10% наблюдается закономерное клинальное изменение физических свойств формируемых субстратов. Пористость изменяется незначительно, так как показатели пористости исходных компонентов близки. Коэффициент пористости относительно стабилизируется с доли ила в субстрате, близкой к 30%.

Поглощенная влага хорошо удерживается в субстратах, отток влаги после водонасыщения в течение 3–5 ч происходил слабо, что, скорее всего, связано с низкой степенью разложения и ботаническим составом торфа (сфагнум). Фрагменты сфагнума, благодаря строению клеток, способны поглощать воду, масса которой превышает массу листа в 30–40 раз [15]. Этим и обусловлена высокая влагоемкость сфагнового торфа (максимальная влагоемкость достигает почти 1800%). Все комбинации субстратов набирают влагу в первые два часа после постановки эксперимента: более 70% от максимальной влагоемкости (48 ч) и хорошо ее удерживают при оттоке (таблица).

По водным свойствам (влагоемкости) заметно, что добавка даже 10% ила с низкой способностью к влагоудержанию резко снижает влагоемкость комбинированного субстрата (в 2 раза). Увеличение доли ила в смеси торф/ил не дает резких изменений влагоемкости смесей, по мере увеличения доли ила влагоемкость субстрата клинально приближается к влагоемкости илового ком-

понента (биогумуса). Добавка ила в пределах 10–40% способствует снижению полной влагоемкости на 20–30% на каждые 10% внесения ила в торф, при больших дозах внесения ила (50–70%) темпы снижения запасов воды в субстрате снижаются до 4–13% на каждые 10% внесения ила. Соотношение ила и торфа в субстрате 1:1 способствует переводу водных свойств композиционного субстрата ближе к свойствам ила, отличающегося меньшей влагоемкостью, по сравнению с торфом. Это может быть опасно при использовании таких субстратов в теплицах, вызывая его быстрое пересыхание в кассетах.

То есть увеличение доли ила в субстрате может привести к плохому удерживанию воды в кассетах, пересыханию субстрата и гибели посадочного материала. В дальнейшем необходимо провести комплексную оценку композиционного субстрата на основе торфа и активного ила как по водно-физическим, так и агрохимическим показателям и свойствам, по крайней мере в вегетационных опытах на тест-объектах.

Провели сравнение композиционных субстратов на основе верхового торфа и отходов активного ила АЦБК/биогумуса «Архангельский» с промышленными субстратами.

Градиентные добавки активного ила к верховому торфу резко повышают истинную плотность и насыпную плотность сложения субстрата. Наиболее близки показатели к эталонным субстратам: по плотности

сложения – при 20–30% ила, по истинной плотности – при 30–70% ила в композиции. Формируемые субстраты по пористости (80–91%) достаточно близки к эталонным субстратам (88–93%). Однако все же предпочтение стоит отдать комбинациям с дозами ила до 50%. Большие дозы ила снижают коэффициент пористости до значительных (в 2 и более раза) расхождений с эталонами.

По водным свойствам наиболее близки к эталонным производственным субстратам варианты комбинационных субстратов на основе торфа и активного ила АЦБК с добавкой 20–30%. Увеличение доли ила в субстрате приводит к снижению влагонасыщения и влагоемкости субстратов и может быть опасно при использовании в теплицах, потребовать дополнительных изменений в обеспечении поливной нормы или применении специальных водоудерживающих добавок.

Заключение

Таким образом, добавка биогумуса к верховому торфу даже в 10% по объему значительно меняет ряд водно-физических свойств. При добавке к торфу биогумуса на основе отходов активного ила повышается плотность субстрата, но снижается пористость, влагоемкость. Подсушивание субстрата при его использовании в теплицах может вызвать необходимость регулирования поливной нормы.

По комплексу показателей и сравнения с производственными аналогами наиболее выгодным является композиция с добавкой 20–30% биогумуса на основе отходов активного ила АЦБК, которая наиболее соответствует промышленным субстратам. Этой добавке биогумуса «Архангельский» к верховому торфу вполне достаточно, чтобы обеспечить необходимые водно-физические свойства субстрата в малообъемных кассетах в типовых теплицах лесного комплекса.

В дальнейшем эксперименты по подбору композиций субстратов для использования в тепличных комплексах и выращивания посадочного материала лесных пород следует продолжить в продукционном направлении – обеспечении макро- и микроэлементами для регламентации их добавок, а также с точки зрения эколого-токсикологических свойств (содержание ТМ и патогенов). Необходима также проверка субстратов на тест-объектах и в реальных условиях при выращивании семян древесных пород.

Авторы благодарят Е.М. Романова и студентов САФУ А.А. Горелову, Е.С. Моисееву, П.А. Сеулину за помощь в подготовке композиций субстратов.

Список литературы

1. Чеботарев Н.Т., Найденов Н.Д., Юдин А.А. Агро-экологическая оценка применения осадков сточных вод в качестве удобрений сельскохозяйственных культур // Наука. Мысль. 2016. № 1–2. С. 33–42.
2. Lamastra L., Suci N., Trevisan M. Sewage sludge for sustainable agriculture: contaminants' contents and potential use as fertilizer. *Chemical and Biological Technologies in Agriculture*. 2018. Vol. 5. P. 5–10. DOI: 10.1186/s40538-018-0122-3.
3. Fijalkowski K., Rorat A., Grobelak A., Kacprzak M. The presence of contaminations in sewage sludge – the current situation. *Journal of Environmental Management*. 2017. № 203 (Pt 3). P. 1126–36. DOI: 10.1016/j.jenvman.2017.05.068.
4. Iticescu C., Georgescu L., Murariu G., Circiumaru A. The Characteristics of Sewage Sludge Used on Agricultural Lands. *AIP Conference Proceedings*. 2022. 020001. 2018. P. 1–8. DOI: 10.1063/1.5060681.
5. Горелова О.М., Титова К.Ю. Исследования об утилизации активного ила // Ползуновский вестник. 2015. № 4. Т. 1. С. 114–118.
6. Национальный стандарт РФ «Технические принципы обработки осадков сточных вод. Общие требования». М.: Российский институт стандартизации, 2021. [Электронный ресурс]. URL: Ошибка! Недопустимый объект гиперссылки. (дата обращения: 07.02.2023).
7. Перова А.Е., Чистикин И.И., Матвеев М.К. Утилизация биомассы активного ила: учебник для техн. спец. вузов. М.: Высшая школа, 2015. Т. 16. Т. X. С. 1520–1536.
8. Акимова И.А., Ткач П.Д., Сыч О.О. Утилизация биомассы активного ила: учебник для техн. спец. вузов. М.: Высшая школа. 2015. Т. 16. Т. X. С. 50–156.
9. Ручай Н.С., Маркевич Р.М. Экологическая биотехнология: учебное пособие для студентов специальности «Биоэкология». Минск: БГТУ, 2006. 312 с.
10. Соколов О.М., Ивко В.Р. Торфяные ресурсы Архангельской области и их использование. Архангельск: Издательство АГТУ, 2000. 37 с.
11. Скрипниченко В.А., Селянина С.Б., Татаринцева В.Г., Пономарева Т.И., Дайбова Е.Б., Кириллова М.Е. Торф как источник для производства удобрений (на примере месторождения Овечье) // Проблемы освоения нефтегазовых месторождений приарктических территорий России: материалы Всероссийской научно-практической конференции (17–18 декабря 2020 г.). / Отв. ред. проф. М.Г. Губайдуллин и доц. О.В. Крайнева; Северный (Арктический) федеральный университет. Архангельск: САФУ, 2020. Вып. 3. С. 117–121.
12. Селянина С.Б., Пономарева Т.И., Ярыгина О.Н., Труфанова М.В., Зубов И.Н. Биологическая активность компонентов верхового торфа Арктической зоны Российской Федерации // Химия растительного сырья. 2020. № 1. С. 293–301.
13. Робонен Е.В., Зайцева М.И., Чернобровкина Н.П., Чернышенко О.В., Васильев С.Б. Опыт разработки и использования контейнерных субстратов для лесных питомников. Альтернативы торфу. *Resources and Technology*. 2015. № 12 (1). С. 47–76. DOI: 10.15393/j2.art.2015. 3081.
14. Мисников О.С., Пухова О.В., Черткова Е.Ю. Физико-химические основы торфяного производства: учебное пособие. Тверь: Тверской государственный технический университет, 2015. 168 с.
15. Крамаренко В.В. Влияние ботанического состава на физические свойства торфа // Известия Тульского государственного университета. Естественные науки. 2009. Вып. 2. С. 272–280.