Министерство образования и науки Российской Федерации
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

УДК: 631.4

№ гос. регистрации

Инв. №

УТВЕРЖДАЮ

Проректор по эксплуатации
имущественного комплекса
к.т.н.

А.П. Суслов

«15» ноября 2017 г.

ОТЧЕТ
ОБ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ РАБОТЕ

РАЗРАБОТКА РЕЦЕПТУРЫ ПРИГОТОВЛЕНИЯ ОРГАНОМИНЕРАЛЬНОЙ СМЕСИ НА ОСНОВЕ ОТСЕВА СТАЛЕПЛАВИЛЬНОГО ЩЕБНЯ И ОСАДКА СТОЧНЫХ ВОД

(2 этап)

заключительный

Руководитель работ,
к.т.н.

15.11.17
подпись, дата

В.А. Матвеева

Санкт-Петербург 2017

СПИСОК ИСПОЛНИТЕЛЕЙ

Заведующий учебно-научной лаборатории Моделирования экологической обстановки, к.т.н.	15.11.2017 подпись, дата	В.А. Матвеева (общее руководство)
Заведующий учебно-научной лаборатории Экологического мониторинга, к.т.н.	15.11.2017 подпись, дата	Т.А. Лытаева (раздел 1)
Ведущий инженер лаборатории Моделирования экологической обстановки	15.11.2017 подпись, дата	И.П. Сверчков (раздел 2)
Ведущий инженер лаборатории Моделирования экологической обстановки	15.11.17 подпись, дата	М.А. Чукаева (раздел 2)
Нормоконтролер	15.09.17 подпись, дата	Ю.Д.Смирнов

РЕФЕРАТ

Отчет 51 с., 2 ч., 41 рис., 8 табл., 1 приложение.

ОРГАНОМИНЕРАЛЬНЫЕ УДОБРЕНИЯ, УДОБРЕНИЯ ВТОРОЙ КАТЕГОРИИ, РЕКУЛЬТИВАЦИЯ, ОТХОДЫ ПРОИЗВОДСТВА

Объект исследования – образцы сталеплавильного щебня фракции 5 – 0 мм, осадка сточных вод МУП «Липецкая станция аэрации» и почвы Липецкой области, предоставленные ООО «ГАЗСВЯЗЬЭНЕРГОСТРОЙ».

Цель работы – разработка рецептуры приготовления органоминеральной смеси на основе осадка сточных вод МУП «Липецкая станция аэрации» и отсева сталеплавильного щебня фракции 0–5 мм, а также оценка возможности их использования при проведении рекультивационных работ.

Методы проведения работы – лабораторные исследования химического состава выращенной травосмеси методом атомно-эмиссионной спектрометрии, изменения кислотности модельных образцов методом потенциометрии.

На втором этапе необходимо было вырастить травосмесь на модельных образцах: 1) почва Липецкой области; 2) почва Липецкой области и отсев сталеплавильного щебня фракции 0–5 мм; 3) почва Липецкой области и осадок сточных вод МУП «Липецкая станция аэрации»; 4) почва Липецкой области, осадок сточных вод МУП «Липецкая станция аэрации» и отсев сталеплавильного щебня фракции 0–5 мм в различных соотношениях. Произвести оценку выросшей зеленой массы и контроля кислотности почвы на протяжении всего периода проведения испытаний.

По результатам проведенных исследований на основе выращенной травосмеси была проведена оценка зеленой массы, контроль кислотности, а также определено количество тяжелых металлов, аккумулируемых растениями. По полученным лабораторным исследованиям был предложен состав органоминеральной смеси на основе отсева сталеплавильного щебня фракции 0–5 мм и осадка сточных вод МУП «Липецкая станция аэрации».

СОДЕРЖАНИЕ

	ВВЕДЕНИЕ	5
1	Выращивание травосмеси на основе сталеплавильного щебня фракции 0-5 мм и осадка сточных вод МУП «Липецкая станция аэрации»	6
1.1	Контроль прироста аэральной части биомассы растений	12
1.2	Контроль высоты листьев растений	15
1.3	Контроль кислотности почвы модельных образцов	19
2	Определение содержания металлов, аккумулируемых растениями	24
	ЗАКЛЮЧЕНИЕ	29
	СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ	31
	ПРИЛОЖЕНИЕ	32

ВВЕДЕНИЕ

Отчет выполнен в соответствии с договором № 04–17Э от 24.04.2017 г. с Санкт-Петербургским Горным университетом и согласованным техническим заданием.

ООО «ГАЗСВЯЗЬЭНЕРГОСТРОЙ» занимается поставками щебня и продукции заводов черной металлургии. Проект предполагает использование сталеплавильного щебня в качестве компонента органоминеральной смеси для проведения рекультивационных работ.

Целью 2 (заключительного) этапа работы являлась разработка рецептуры приготовления органоминеральной смеси на основе отсева сталеплавильного щебня фракции 0–5 мм и осадка сточных вод МУП «Липецкая станция аэрации».

Работы выполнены в лаборатории Моделирования экологической обстановки в полном объеме и в установленные договором сроки.

1 ВЫРАЩИВАНИЕ ТРАВОСМЕСИ НА ОСНОВЕ СТАЛЕПЛАВИЛЬНОГО ЩЕБНЯ ФРАКЦИИ 0–5 ММ И ОСАДКА СТОЧНЫХ ВОД МУП «ЛИПЕЦКАЯ СТАНЦИЯ АЭРАЦИИ»

Органоминеральную смесь на основе сталеплавильного щебня фракции 0–5 мм и осадка сточных вод МУП «Липецкая станция аэрации» предполагается использовать в качестве удобрений II группы: для посадки лесохозяйственных культур вдоль дорог, в питомниках лесных и декоративных культур, для рекультивации нарушенных земель и откосов автомобильных дорог, свалок твердых бытовых отходов [1].

В лабораторных условиях были проведены эксперименты по выращиванию травосмеси на модельных образцах:

– почва Липецкой области (ЛО) (контрольный образец);

– почва ЛО и осадок сточных вод МУП «Липецкая станция аэрации» (ОСВ);

– почва ЛО и отсев сталеплавильного щебня фракции 0–5 мм (ОСЩ);

– почва ЛО и органоминеральная смесь (ОМС) в различных массовых соотношениях ОСВ и ОСЩ, равных 1:3; 1:1; 3:1 соответственно.

Для определения внесения допустимого количества исследуемых образцов ОСВ, ОСЩ и ОМС в почву ЛО с учетом ее свойств и фактического загрязнения был произведен расчет их средних ежегодных доз в пересчете на сухое вещество, т/га, по следующей формуле [1]:

$$Д_{ср} = \frac{Д_{доп}}{T \cdot (C_{осв} + C_{осщ})} \quad (1)$$

Полученные расчетные данные представлены в таблице 1.

Таблица 1

Результаты расчета допустимых доз внесения тяжелых металлов, мышьяка и средней ежегодной дозы внесения ОСВ и ОСЩ в почву ЛО

№ п/п	Элемент	Допустимая доза внесения металлов в почву (*), г/га	Ежегодная доза внесения металлов, т/га	
			ОСВ	ОСЩ
1	Кадмий	1980,0	152,3	33,6
3	Медь	158160,0	98,9	222,8
4	Мышьяк	11850,0	438,9	11850,0
5	Никель	93000,0	794,9	46500,0
6	Ртуть	4440,0	740,0	4440,0
7	Свинец	153000,0	327,6	127,5
8	Цинк	262050,0	49,2	40,9
9	Хром (III)	13440,0	27,2	35,5

Примечание: * – данные из отчета по исследовательской работе «Разработка рецептуры приготовления органоминеральной смеси на основе отсева сталеплавильного щебня и осадка сточных вод» (1 этап)

Допустимое количество ОСВ в пересчете на сухое вещество составляет 27,2 т/га, ОСЩ - 33,6 т/га, что равно значению ежегодной дозы внесения хрома (III) и кадмия в почву, соответственно.

В таблице 2 представлены допустимые ежегодные дозы внесения тяжелых металлов, мышьяка совместно с ОСВ, ОСЩ и ОМС в почву ЛО.

Таблица 2

Допустимые ежегодные дозы внесения исследуемых материалов в почву ЛО

№ п/п	Вносимый в почву материал	Допустимая доза внесения, т/га
1	ОСЩ	33,6
2	ОСВ	27,2
3	ОМС (ОСВ:ОСЩ): 1:3 1:1 3:1	 32,9 (*) 30,8 (*) 28,8 (*)

Примечание: * – данные из отчета по исследовательской работе «Разработка рецептуры приготовления органоминеральной смеси на основе отсева сталеплавильного щебня и осадка сточных вод» (1 этап)

Исходя из расчетных данных допустимых доз внесения исследуемых материалов, были приготовлены модельные образцы и произведен посев газонной травосмеси FXA, представленной райграсом пастбищным (плевелом многолетним).

Посев семян производился в емкости размером 80х190х200 мм (рисунки 1 и 2).

Норма высева семян райграса пастбищного в качестве травосмеси для газонов составляет 60 кг/га (0,091 г/152 см^2).

Райграс пастбищный хорошо приспособлен к условиям влажного умеренного климата и относится к растениям озимого среднеспелого типа развития. Появление всходов наблюдается на 5 – 13 сутки после посева.

Главным преимуществом этой травы является ее способность образовывать густой травостой уже спустя месяц после посева.

После скашивания растение быстро и равномерно отрастает, сохраняя при этом декоративный вид.

Кроме этого райграс имеет мощную разветвленную корневую систему, которая проникает глубоко в почву, скрепляя ее и удерживая грунт на небольшом уклоне.

Рисунок 1 – Семена газонной травосмеси FXA: 50% райграс пастбищный Кентаур, 50% райграс пастбищный Калибра

Рисунок 2 – Посев газонной травосмеси FXA

Внешние условия (освещенность, температура и влажность воздуха, кислотность почвы (pH) и другие) оказывают на рост растений как прямое, так и косвенное влияние.

Одним из важных факторов, влияющих на рост растений, является температура, которая регулирует активность ферментов. Оптимальные температуры для роста растений находятся в диапазоне от +18 до +30 °С [2].

Средняя температура помещения, где выращивалась травосмесь, составляла +20 °С.

Достаточная освещенность запускает процесс фотосинтеза у растений, благодаря которому они вырабатывают органические соединения из неорганических. Освещенность, необходимая для прохождения процесса фотосинтеза в растениях, составляет 600 – 2000 люкс [2].

За счет искусственного и естественного освещения в помещении во время проведения эксперимента освещенность составляла 770 люкс.

Влажность воздуха также влияет на рост и развитие растений. Низкая влажность воздуха увеличивает транспирацию и испарение воды из субстрата. Чем ниже влажность воздуха, тем сильнее испарение воды листьями и почвой, тем чаще требуется полив. В среднем уровень влажности воздуха для нормального роста растений должен составлять 60 – 90 % [2].

Влажность воздуха в помещении, где выращивалась травосмесь, находилась в допустимых пределах и составляла 88 %.

Содержание оптимального количества влаги в почве также является необходимым условием нормального развития растений и оказывает влияние на поступление в них элементов питания. При недостатке влаги уменьшается тургорное давление клеток, теряется их эластичность, снижается динамика биохимических процессов, сокращается поглощение углекислоты через устьица, в биомассе накапливаются вещества-ингибиторы. При избытке влаги у растений нарушается кислородный обмен, в почвах аккумулируются закисные соединения, что приводит к уменьшению биопродуктивности почвы, как следствие к гибели растений [2].

Для поддержания влажности модельных образцов 1 – 2 раза в неделю производился полив. Объем добавляемой воды соответствовал норме осадков на территории ЛО в теплый период года.

В таблице 3 представлены микроклиматические характеристики помещения, в котором выращивалась травосмесь.

Таблица 3

Микроклиматические характеристики помещения

№ п/п	**Параметр**	**Значение**
1	Температура воздуха, °С	20
2	Влажность воздуха, %	88
3	Освещенность, люкс	770

Кроме этого, существенное значение для направленности почвенных процессов и уровня почвенного плодородия имеет кислотность почвы (pH). Почвы со значением pH солевой вытяжки, равной 6,5 – 7,5 ед. pH, являются оптимальными для роста и развития растений [2].

Почва ЛО, использованная в качестве контрольного образца, имела pH солевой вытяжки, равный 6,6 ед. pH. Также на протяжении вегетационного периода травосмеси производился ежемесячный контроль кислотности почвы модельных образцов.

1.1 Контроль прироста аэральной части биомассы растений

О происходящих в растениях процессах роста может свидетельствовать ряд признаков, к которым относятся увеличение массы растений и их частей, числа клеток, линейных размеров (длины, высоты, толщины, диаметра). В отдельности каждый из этих признаков не всегда достоверно указывает на наличие в растениях процессов роста. Полное представление о росте возможно получить при одновременном учете нескольких показателей.

На четвертые сутки после посева газонной травосмеси FXA наблюдался всход семян, при этом лабораторная всхожесть семян в контрольном образце составила 81 %, всхожесть в остальных образцах на 2 – 6 % выше (таблица 4), что обусловлено привнесением в почву дополнительных веществ.

Таблица 4

Всхожесть семян FXA в лабораторных условиях

№ п/п	**Модельный образец**	**Всхожесть семян, %**
1	Почва ЛО	81
2	Почва ЛО + ОСВ	85
3	Почва ЛО + ОСЩ	83
4	Почва ЛО + ОМС (ОСВ:ОСЩ=1:3)	87
5	Почва ЛО + ОМС (ОСВ:ОСЩ=1:1)	87
6	Почва ЛО + ОМС (ОСВ:ОСЩ=3:1)	87

После всхода газонной травосмеси, высота листьев поддерживалась на уровне 10 см, при этом аэральная часть биомассы после каждого срезания взвешивалась. В конце 20 недели, по окончании вегетационного периода лабораторный эксперимент был остановлен. Еженедельный прирост аэральной части биомассы представлен в таблице 5. Фотографии развития растений за весь вегетационный период представлены в приложении А.

Таблица 5

Еженедельный прирост аэральной части биомассы травосмеси FXA

№ п/п	Неделя	Масса аэральной части травосмеси, г					
		Почва ЛО	Почва ЛО +ОСВ	Почва ЛО +ОСЩ	Почва ЛО +ОМС (ОСВ:ОСЩ =1:3)	Почва ЛО +ОМС (ОСВ:ОСЩ =1:1)	Почва ЛО +ОМС (ОСВ:ОСЩ =3:1)
1	1	-	-	-	-	-	-
2	2	-	-	-	-	-	-
3	3	0,660	0,890	0,560	0,840	0,960	1,050
4	4	0,615	0,704	0,511	0,699	0,919	0,982
5	5	0,637	0,763	0,527	0,689	0,926	1,001
6	6	0,610	0,696	0,573	0,664	0,855	0,977
7	7	0,677	0,701	0,605	0,678	0,840	0,925
8	8	0,658	0,692	0,631	0,623	0,826	0,910
9	9	0,641	0,670	0,592	0,650	0,831	0,911
10	10	0,623	0,628	0,586	0,603	0,711	0,880
11	11	0,589	0,610	0,511	0,575	0,615	0,811
12	12	0,517	0,570	0,485	0,511	0,600	0,757
13	13	0,464	0,492	0,433	0,465	0,601	0,643
14	14	0,467	0,500	0,440	0,468	0,553	0,592
15	15	0,444	0,487	0,412	0,431	0,508	0,597
16	16	0,458	0,462	0,418	0,420	0,499	0,521
17	17	0,420	0,442	0,394	0,411	0,476	0,491
18	18	0,406	0,469	0,399	0,416	0,505	0,494
19	19	0,376	0,395	0,293	0,382	0,423	0,451
20	20	3,291	3,160	3,236	3,522	3,356	3,357
ИТОГО, г/152 см^2		12,553	13,331	11,606	13,047	15,004	16,350
г/м^2		825,86	877,04	763,55	858,36	987,11	1075,66

Общая аэральная часть биомассы выращенной травосмеси FXA на модельных образцах за один вегетационный период представлена на рисунке 3.

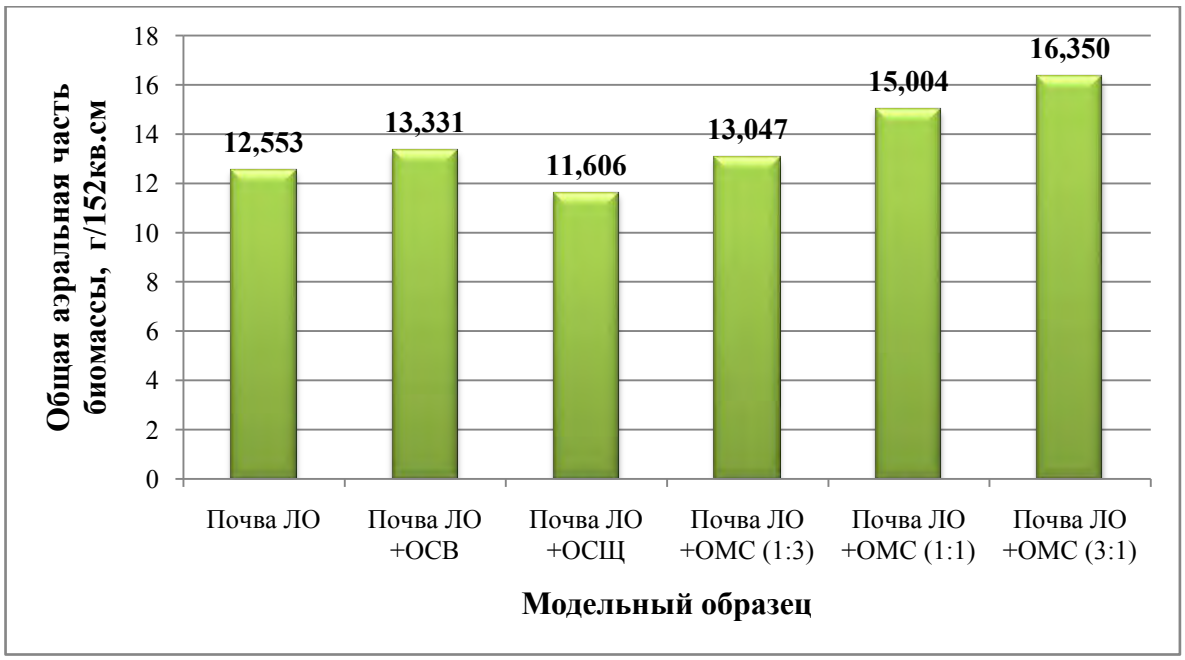

Рисунок 3 – Общая аэральная часть биомассы, полученная за один вегетационный период травосмеси FXA

По полученным данным аэральной части биомассы выращенной травосмеси FXA можно судить об ее уменьшении на 7,5 % в модельном образце «почва ЛО+ОСЩ» относительно контрольного образца сравнения и наличии фактора угнетения растений.

Исходя из наблюдаемого прироста аэральной части биомассы на 3,9 – 30,2 % относительно контрольного образца, можно судить о положительном эффекте, достигаемом при совместном добавлении ОСВ и ОСЩ в почву ЛО.

1.2 Контроль высоты листьев растений

Во время проведения эксперимента еженедельно перед срезом аэральной биомассы производился замер высоты листьев. В таблице 6 представлены данные измерений высоты растений за весь вегетационный период. Графическое изображение полученных данных представлено на рисунках 4 – 9.

Таблица 6

Результаты измерений высоты растений за весь вегетационный период

№ п/п	Модельный образец											
	Время, дни	**Почва ЛО**	**Почва ЛО +ОСВ**		**Почва ЛО +ОСЩ**		**Почва ЛО +ОМС (ОСВ:ОСЩ=1:3)**		**Почва ЛО +ОМС (ОСВ:ОСЩ=1:1)**		**Почва ЛО +ОМС (ОСВ:ОСЩ=3:1)**	
		Высота, см	Высота, см	Прирост, ±%	Высота, см	Прирост, ±%	Высота, см	Прирост, ±%	Высота, см	Прирост, ±%	Высота, см	Прирост, ±%
1	0	0	0	-	0	-	0	-	0	-	0	-
2	7	3,3	3,5	+6,1	3,1	-6,1	3,7	+12,1	3,7	+12,1	3,8	+15,2
3	14	13,1	13,5	+3,1	12,3	-6,1	14,3	+9,2	14,4	+9,9	14,5	+10,7
4	21	17,1	17,4	+1,8	15,9	-7,0	18,0	+5,3	18,6	+8,8	19,2	+12,3
5	28	21,8	22,6	+3,7	20,6	-5,5	22,7	+4,1	22,5	+3,2	23,1	+6,0
6	35	26,1	27,0	+3,4	23,9	-8,4	27,5	+5,4	27,0	+3,4	27,7	+6,1
7	42	29,5	31,3	+6,1	27,6	-6,4	31,7	+7,5	32,0	+8,5	32,1	+8,8
8	49	34,8	35,7	+2,6	32,3	-7,2	35,9	+3,2	36,3	+4,3	36,5	+4,9
9	56	40,0	40,4	+1,0	36,7	-8,2	40,5	+1,3	41,2	+3,0	41,8	+4,5
10	63	44,2	44,8	+1,4	41,3	-6,6	45,9	+3,8	45,1	+2,0	45,6	+3,2
11	70	47,0	47,6	+1,3	44,6	-5,1	47,7	+1,5	48,8	+3,8	49,2	+4,7
12	77	49,0	49,3	+0,6	47,4	-3,3	49,5	+1,0	50,4	+2,9	50,8	+3,7
13	84	51,0	51,5	+1,0	49,1	-3,7	51,4	+0,8	52,0	+2,0	52,9	+3,7
14	91	53,1	53,7	+1,1	51,5	-3,0	53,7	+1,1	54,8	+3,2	55,2	+4,0
15	98	54,5	54,9	+0,7	52,7	-3,3	55,1	+1,1	55,6	+2,0	56,4	+3,5
16	105	55,6	56,0	+0,7	54,0	-2,9	56,4	+1,4	56,9	+2,3	57,2	+2,9
17	112	56,7	56,9	+1,2	54,7	-3,5	57,5	+1,4	58,0	+2,3	58,5	+3,2
18	119	57,0	57,0	+3,0	55,3	-3,0	58,0	+1,8	59,3	+4,0	60,0	+5,3
19	126	57,2	57,3	+2,6	55,6	-2,8	58,0	+1,4	59,3	+3,7	60,0	+4,9
20	133	57,2	57,3	+2,6	55,6	-2,8	58,0	+1,4	59,3	+3,7	60,0	+4,9

21	140	57,3	57,3	+2,4	55,6	-3,0	58,0	+1,2	59,3	+3,5	60,0	+4,7

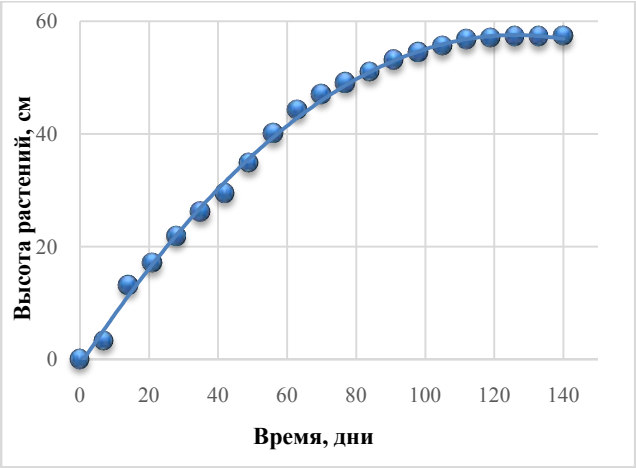

Рисунок 4 – Темп роста растений контрольного образца

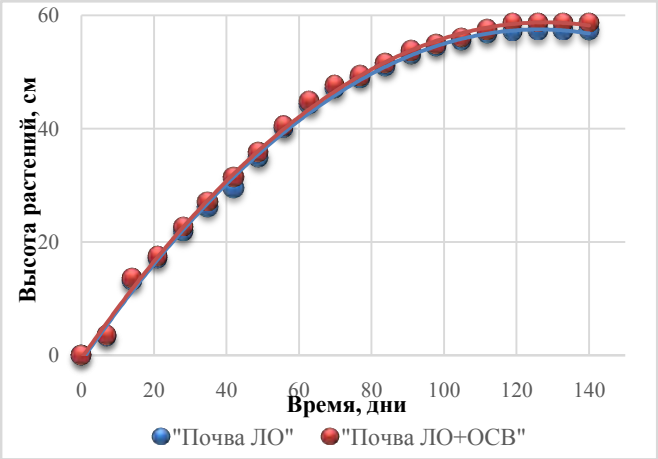

Рисунок 5 – Темп роста растений модельного образца «почва ЛО+ОСВ»

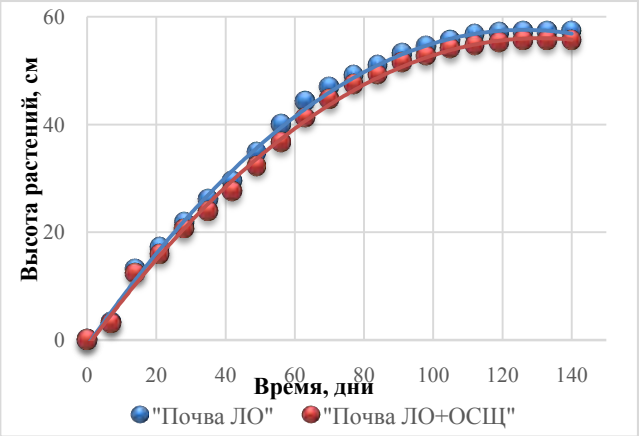

Рисунок 6 – Темп роста растений модельного образца «почва ЛО+ОСЩ»

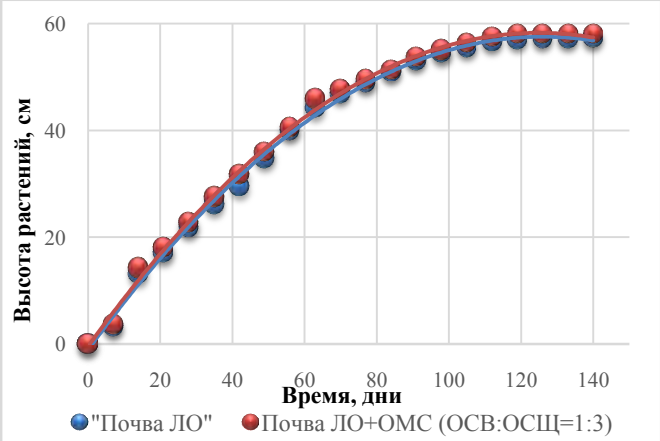

Рисунок 7 – Темп роста растений модельного образца «почва ЛО+ОМС (ОСВ:ОСЩ=1:3)»

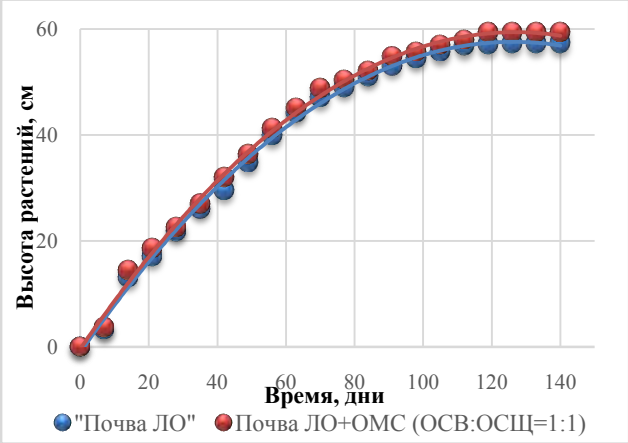

Рисунок 7 – Темп роста растений модельного образца «почва ЛО+ОМС (ОСВ:ОСЩ=1:1)»

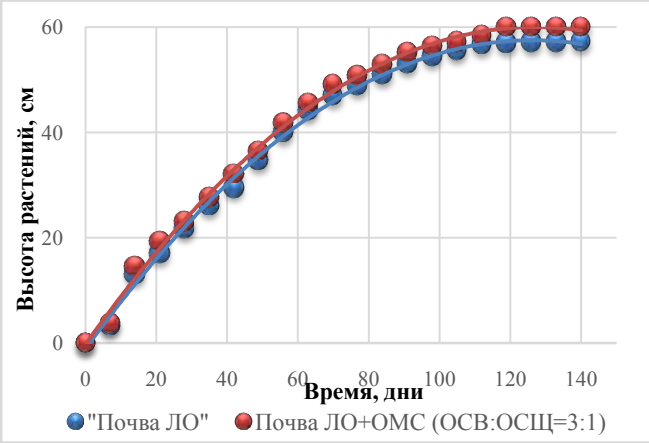

Рисунок 7 – Темп роста растений модельного образца «почва ЛО+ОМС (ОСВ:ОСЩ=3:1)»

Из таблицы 6 и рисунков 4 - 7 видно, что темп роста растений травосмеси FXA, высаженной на модельных образцах практически одинаков.

Стоит отметить, что наибольшую высоту листьев относительно контрольного образца имели растения, высаженные на модельных образцах «почва ЛО+ОМС». Это связано с поступлением одновременно дополнительных органических и минеральных веществ с ОСВ и ОСЩ.

При поступлении дополнительных веществ только с ОСЩ в модельном образце «почва ЛО+ОСЩ» наблюдалось увядание растений, и, как следствие, в результате была получена наименьшая доля аэральной части биомассы и наименьший прирост листьев растений относительно контрольного образца.

При поступлении дополнительных веществ только с ОСВ наблюдался одинаковый темп роста растений модельного образца «почва ЛО+ОСВ» и контрольного образца сравнения, и в результате был получен одинаковый прирост листьев.

Сопоставив полученные данные роста растений, можно сделать вывод, что отклонений от контрольного образца сравнения (почва ЛО), превышающих 20 %, не наблюдалось ни в одном модельном образце, что говорит об отсутствии токсичного воздействия ОСВ, ОСЩ или ОМС на развитие газонной травосмеси, состоящей из райграса пастбищного.

Кроме этого, стоит отметить, что на протяжении вегетационного периода таких заболеваний, как хлороза и некроза у растений не наблюдалось.

1.3 Контроль кислотности почвы модельных образцов

На протяжении всего вегетационного периода травосмеси FXA ежемесячно проводился контроль кислотности почвы модельных образцов.

Определение pH солевой вытяжки модельных образцов проводилось в соответствии с ГОСТ 26483-85 «Почвы. Приготовление солевой вытяжки и определение ее pH по методу ЦИНАО» [3].

Сущность метода заключалась в извлечении обменных катионов, нитратов и подвижной серы из почвы раствором хлористого калия концентрацией 1 моль/дм^3 (1 н.) и потенциометрическом определении pH.

Отобранные пробы модельных образцов доводились до воздушно-сухого состояния. После чего готовились солевые вытяжки: к навеске модельного образца массой 4 г добавлялся экстрагирующий раствор (раствор хлористого калия концентрацией 1 н.) объемом 100 см^3 и в течение 3 минут производилось перемешивание полученной суспензии. Определение pH солевой вытяжки модельных образцов проводилось с использованием титратора потенциометрического АТП-02 с функцией pH-метра (рисунок 10).

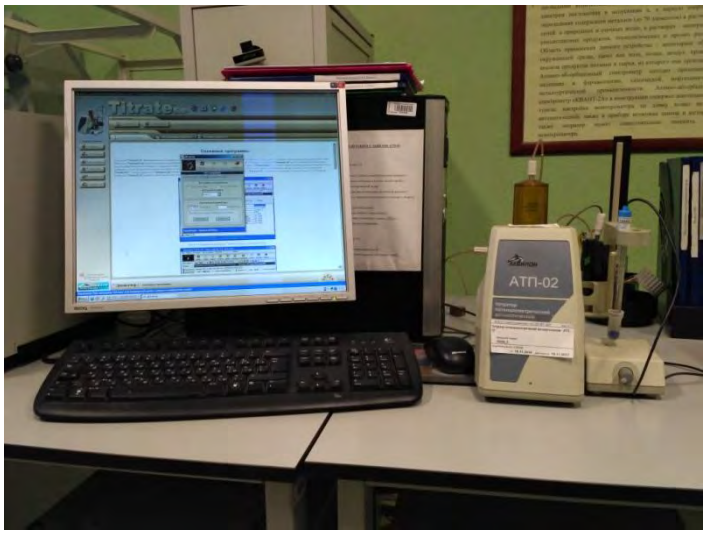

Рисунок 10 – Титратор потенциометрический АТП-02

Изменение pH солевых вытяжек модельных образцов в зависимости от времени выращивания травосмеси представлены на рисунках 11 – 16.

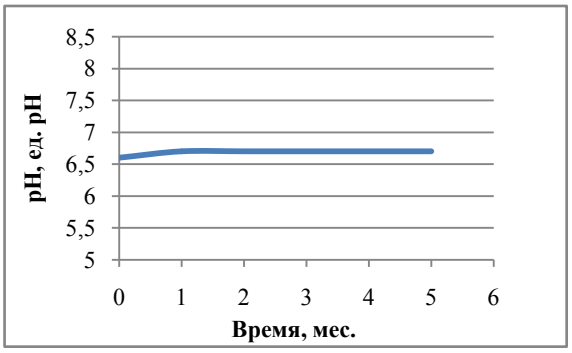

Рисунок 11– График изменения pH солевой вытяжки контрольного образца почвы в зависимости от времени выращивания травосмеси

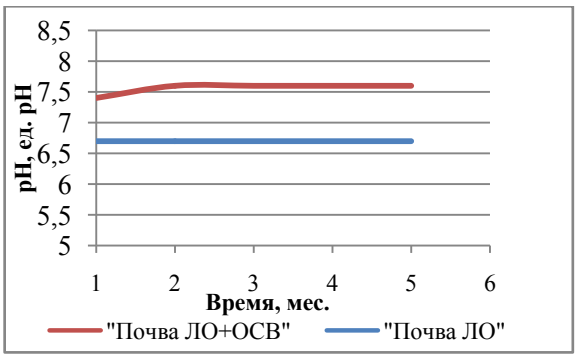

Рисунок 12– График изменения pH солевой вытяжкимодельного образца «почва ЛО+ОСВ»в зависимости от времени выращивания травосмеси

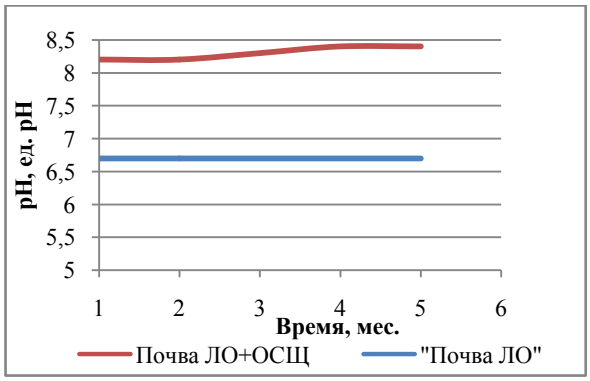

Рисунок 13 – График изменения pH солевой вытяжки модельного образца «почва ЛО+ОСЩ» в зависимости от времени выращивания травосмеси

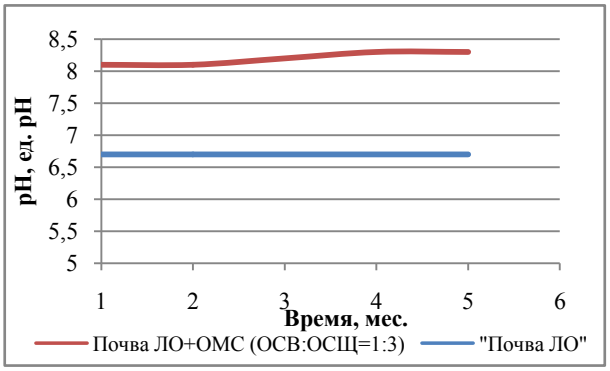

Рисунок 14 – График изменения pH модельного образца солевой вытяжки«почва ЛО+ОМС (ОСВ:ОСЩ=1:3)» в зависимости от времени выращивания травосмеси

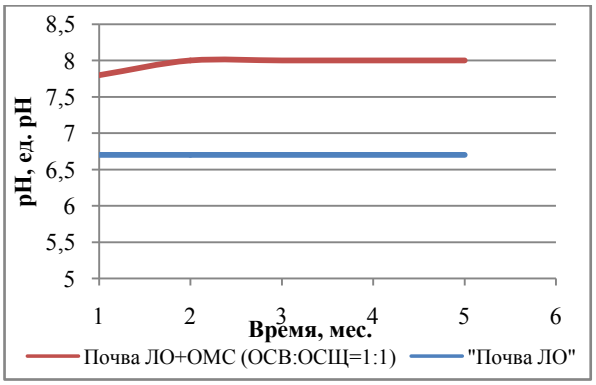

Рисунок 15 – График изменения pH солевой вытяжки модельного образца «почва ЛО+ОМС (ОСВ:ОСЩ=1:1)»в зависимости от времени выращивания травосмеси

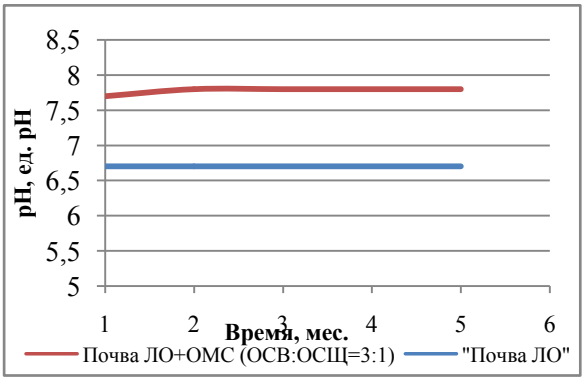

Рисунок 16 – График изменения pH солевой вытяжки модельного образца «почва ЛО+ОМС (ОСВ:ОСЩ=3:1)» в зависимости от времени выращивания травосмеси

Как видно из графиков (рисунки 11 – 16), при внесении добавок (ОСВ, ОСЩ или ОМС) в почву ЛО к концу вегетационного периода газонной травосмеси FXA происходило увеличение значений pH солевой вытяжки на 1 – 2 ед. pH относительно контрольного образца сравнения. Наибольшее изменение pH почвы наблюдалось в модельном образце «почва ЛО+ОСЩ», которое происходило вследствие высокого содержания кальция в ОСЩ.

Сопоставляя полученные данные роста травосмеси, прироста аэральной части биомассы с pH среды модельного образца «почва ЛО+ОСЩ», можно сделать вывод, что увеличение pH почвы ведет к угнетению развития растений. Но при этом, несмотря на увеличение pH почвы, в остальных модельных образцах не наблюдалось явного отличия в росте растений и приросте биомассы относительно контрольного образца, что возможно связано с дополнительным внесением органических веществ с ОСВ.

Так как использованный в исследованиях райграс пастбищный относится к растениям с высокой устойчивостью к изменению значений pH почвы, то для определения влияния кислотности почвы на всхожесть растений дополнительно было проведено высаживание овсяницы луговой, также входящей в состав газонных травосмесей, но чувствительной к увеличению кислотности среды (рисунки 17 и 18).

В таблице 7 представлены данные всхожести овсяницы луговой в лабораторных условиях.

Рисунок 17 – Семена овсянницы луговой

Рисунок 18 – Выращивание овсяницы луговой для определения доли всхожести семян относительно контрольного образца

Таблица 7

Всхожесть семян овсяницы луговой в лабораторных условиях

№ п/п	Модельный образец	Всхожесть семян, %
1	Почва ЛО	79
2	Почва ЛО + ОСВ	72
3	Почва ЛО + ОСЩ	65
4	Почва ЛО + ОМС (ОСВ:ОСЩ=1:3)	70
5	Почва ЛО + ОМС (ОСВ:ОСЩ=1:1)	71
6	Почва ЛО + ОМС (ОСВ:ОСЩ=3:1)	71

Как видно из таблицы 7, лабораторная всхожесть семян овсяницы луговой в контрольном образце составила 79 %, всхожесть в остальных модельных образцах на 7 – 14 % ниже, что обусловлено увеличением значений pH почвы.

Исходя из полученных данных всхожести семян райграса пастбищного и овсяницы луговой в контрольном образце «почва ЛО», можно судить, что при посеве растений в одинаковых климатических условиях достигается одинаковая всхожесть семян.

Дополнительные добавки (ОСВ, ОСЩ или ОМС) приводят к увеличению значений кислотности почвы. При этом всхожесть растений, чувствительных к изменению значений pH снижается относительно контрольного образца сравнения, а всхожесть растений, мало подверженных к изменению pH, находится на уровне контрольного образца или выше.

Следовательно, при выборе планируемой к посеву травосмеси на рекультивированных территориях необходимо учитывать ее устойчивость к изменению кислотности среды.

2 ОПРЕДЕЛЕНИЕ СОДЕРЖАНИЯ МЕТАЛЛОВ, АККУМУЛИРУЕМЫХ РАСТЕНИЯМИ

При использовании отходов промышленности и коммунального хозяйства в качестве удобрения почв сельскохозяйственных угодий необходимо осуществлять систематический контроль за загрязнением почв и продукции растениеводства тяжелыми металлами.

Исследования по определению содержания аккумулированных металлов в выращенных растениях за один вегетационный период проводились в соответствии с Методическими указаниями по определению тяжелых металлов в почвах сельхозугодий и продукции растениеводства (издание 2-е, переработанное и дополненное) [4].

В конце вегетационного периода травосмеси FXA аэральная часть травяного покрова срезалась и высушивалась до воздушно-сухого состояния в хорошо проветриваемом помещении (рисунок 19).

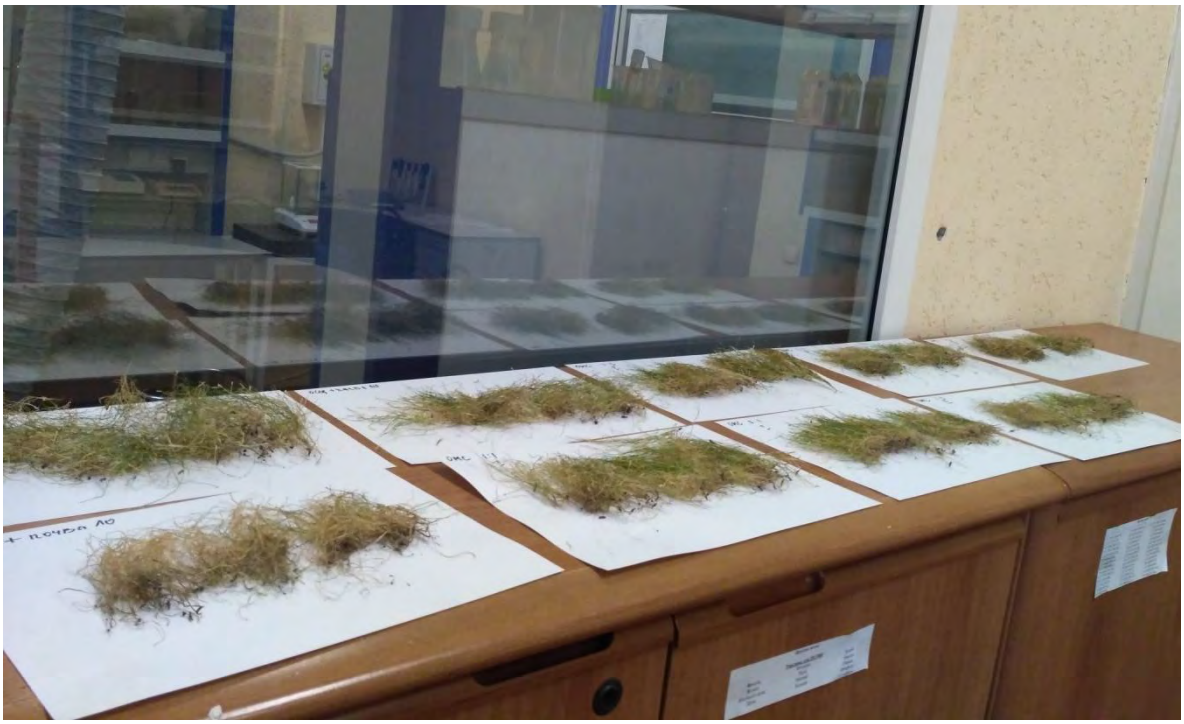

Рисунок 19 – Срезанная аэральная часть биомассы газонной травосмеси FXA

После чего пробы растений измельчались и минерализировались методом сухого озоления. Для этого в предварительно прокаленные при температуре 525 °С тигли помещались высушенные и измельченные пробы растений массой 1 г, после чего тигли с пробами помещались в муфельную

печь и выдерживались при температуре 200 °С в течение 1 ч, затем температура в печи повышалась до 525 °С и образцы выдерживались в течение 3 ч. По окончании прокаливания тигли с золой охлаждались и взвешивались. Прокаливание и взвешивание повторялось до достижения постоянной массы.

Полученная зола имела кремовый цвет без обугленных частиц (рисунок 20).

Рисунок 20 – Минерализованная часть выращенной травосмеси

Для определения аккумулированных металлов в растениях проводилась их кислотная экстракция из минерализованной части.

Полученные золы смачивались несколькими каплями бидистиллированной воды, затем к ним добавлялось по 10 см^3 азотной кислоты, разбавленной 1:1, растворы доводились до кипения и выдерживались в течение 30 минут. После чего содержимое тиглей фильтровалось через бумагу «белая лента» в мерные колбы объемом 50 см^3, и раствор доводился до метки бидистиллированной водой.

Металлы в зольных растворах проб растений определялись на атомно-эмиссионном спектрометре с индуктивно-связанной плазмой ICPE 9000 (рисунок 21).

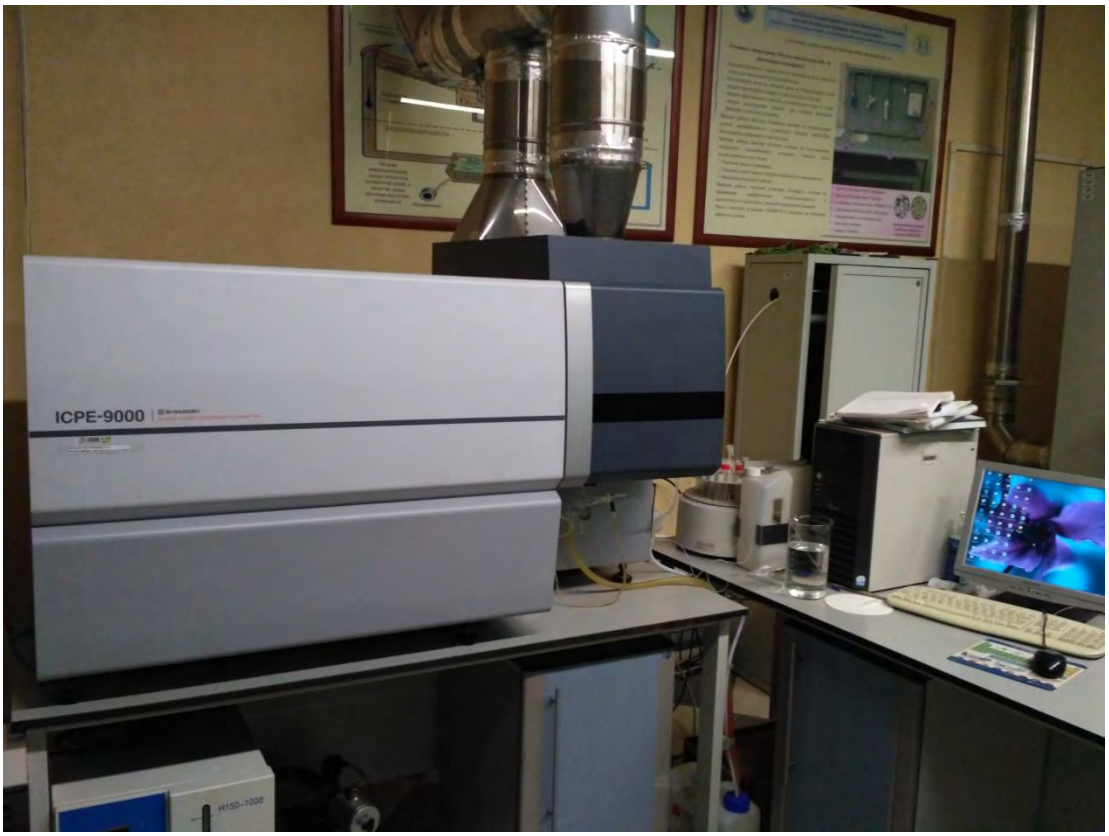

Рисунок 21 – Атомно-эмиссионный спектрометр с индуктивно-связанной плазмой ICPE 9000

Содержание металлов в исследуемых пробах растений, мг/кг, рассчитывалось по следующей формуле:

$$X = \frac{(C_з - C_x) \cdot V}{m} \quad (2)$$

где $C_з$ – содержание металла в зольном растворе, мг/дм^3;

C_x – содержание металла в холостом растворе, мг/дм^3;

V – объем исследуемого зольного раствора, см^3;

M – масса воздушно-сухой пробы растений, г

Полученные результаты определения аккумулированных металлов в листьях растений травосмеси FXA представлены в таблице 8.

Таблица 8

Содержание металлов в листьях выращенной газонной травосмеси

№ п/п	Модельный образец	Содержание металла в листьях растений, мг/кг					
		Cd	Cu	As	Ni	Pb	Zn
1	Почва ЛО	< 0,5	18,2±2,7	<0,05	<3,5	<5,0	26,4±2,6
2	Почва ЛО+ОСВ	< 0,5	23,3±2,8	<0,05	<3,5	<5,0	27,0±2,7
3	Почва ЛО+ОСЩ	< 0,5	38,0±3,8	<0,05	4,0±0,8	<5,0	35,2±3,5
4	Почва ЛО+ ОМС (ОСВ:ОСЩ=1:3)	< 0,5	34,5±3,5	<0,05	<3,5	<5,0	33,5±3,4
5	Почва ЛО+ ОМС (ОСВ:ОСЩ=1:1)	< 0,5	31,0±3,1	<0,05	<3,5	<5,0	30,1±3,0
6	Почва ЛО+ ОМС (ОСВ:ОСЩ=3:1)	< 0,5	29,5±3,0	<0,05	<3,5	<5,0	29,4±2,9
7	$ОДК_{П}$, мг/кг	1,0	66,00	5	40	65	110

Анализ растений, выращенных с применением ОСВ, ОСЩ и ОМС, выявил отклонения в содержании меди, никеля и цинка по отношению к контрольному образцу.

Так, использование в качестве рекультиванта ОСЩ приводит к увеличению содержания меди в растениях в 2 раза, никеля в 1,1 раза, цинка в 1,3 раза относительно контрольного образца. В результате использования в качестве рекультиванта ОСВ происходит увеличение меди в 1,3 раза, содержание никеля и цинка остается на уровне контрольного образца сравнения.

При использовании в качестве рекультиванта ОМС с различными массовыми соотношениями ОСВ и ОСЩ наблюдается минимальное увеличение содержания металлов относительно контрольного образца в растениях выращенных на модельном образце «почва ЛО+ОМС (ОСВ:ОСЩ=3:1)»: в 1,6 раз по меди и 1,8 раз по цинку, по никелю содержание находится на уровне контрольного образца сравнения.

Вследствие того, что исследуемые модельные образцы планируется использовать в качестве удобрений II группы, то сравнение содержания аккумулированных металлов в растениях производится с предельно-

допустимыми (ориентировочно-допустимыми) концентрациями ($ПДК_П$ ($ОДК_П$)) металлов в почве.

Несмотря на то, что содержания металлов в выращенных растениях на модельных образцах «почва ЛО+ОСВ», «почва ЛО+ОСЩ», «почва ЛО+ОМС (ОСВ:ОСЩ=1:3)», «почва ЛО+ОМС (ОСВ:ОСЩ=1:1)», «почва ЛО+ОМС (ОСВ:ОСЩ=3:1)» выше значений контрольного образца, $ОДК_П$ по этим элементам в почве не превышена. Следовательно, можно судить об отсутствии токсического воздействия тяжелых металлов на растения за один вегетационный период.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

По итогам работы на 2 этапе было произведено выращивание газонной травосмеси на модельных образцах, представленных почвой Липецкой области; почвой Липецкой области и отсевом сталеплавильного щебня фракции 0–5 мм; почвой Липецкой области и осадком сточных вод МУП «Липецкая станция аэрации»; почвой Липецкой области, осадком сточных вод МУП «Липецкая станция аэрации» и отсевом сталеплавильного щебня фракции 0–5 мм в различных массовых соотношениях. А также была проведена оценка возможности их использования при проведении рекультивационных работ.

Анализ использования различных образцов в качестве органоминеральных удобрений показал положительное влияние на первоначальный рост и дальнейшее развитие газонной травосмеси относительно контрольного образца.

Полученные данные прироста аэральной части биомассы и высоты листьев растений говорят о положительном эффекте при выращивании газонной травосмеси в результате добавления осадков сточных вод МУП «Липецкая станция аэрации» и отсева сталеплавильного щебня фракции 0–5 мм в почву Липецкой области.

По окончании вегетационного периода газонной травосмеси было определено содержание накопленных металлов в выращенных растениях методом атомно-эмиссионной спектрометрии. Количество металлов в листьях растений не превышает их ОДК в почве.

Сопоставив полученные данные по всхожести семян растений, прироста аэральной части биомассы, высоты листьев, а также содержания аккумулированных металлов, можно сделать вывод, что наиболее благоприятными условиями для развития растений является использование в качестве рекультиванта органоминеральной смеси с массовым соотношением осадков сточных вод МУП «Липецкая станция аэрации» и отсева сталеплавильного щебня фракции 0–5 мм, равным 3:1.

Кроме этого, стоит отметить, что в результате привнесения органоминеральных добавок изменяется уровень кислотности почвы. Поэтому особое внимание при выборе травосмеси, используемой в посеве на рекультивированных территориях, необходимо уделить ее устойчивости к изменению кислотности среды.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1ГОСТ Р 54651-2011 «Удобрения органические на основе осадков сточных вод. Технические условия».

2Полевой, В. В. Физиология роста и развития растений / В.В. Полевой, Т. С. Саламатова.Л.: Изд-во Ленингр. ун-та, 1991.

3ГОСТ 26483-85 «Почвы. Приготовление солевой вытяжки и определение ее pH по методу ЦИНАО».

4Методическими указаниями по определению тяжелых металлов в почвах сельхозугодий и продукции растениеводства (издание 2-е, переработанное и дополненное).

ПРИЛОЖЕНИЕ А

Рисунок 22 – Выращивание травосмеси (1 неделя)

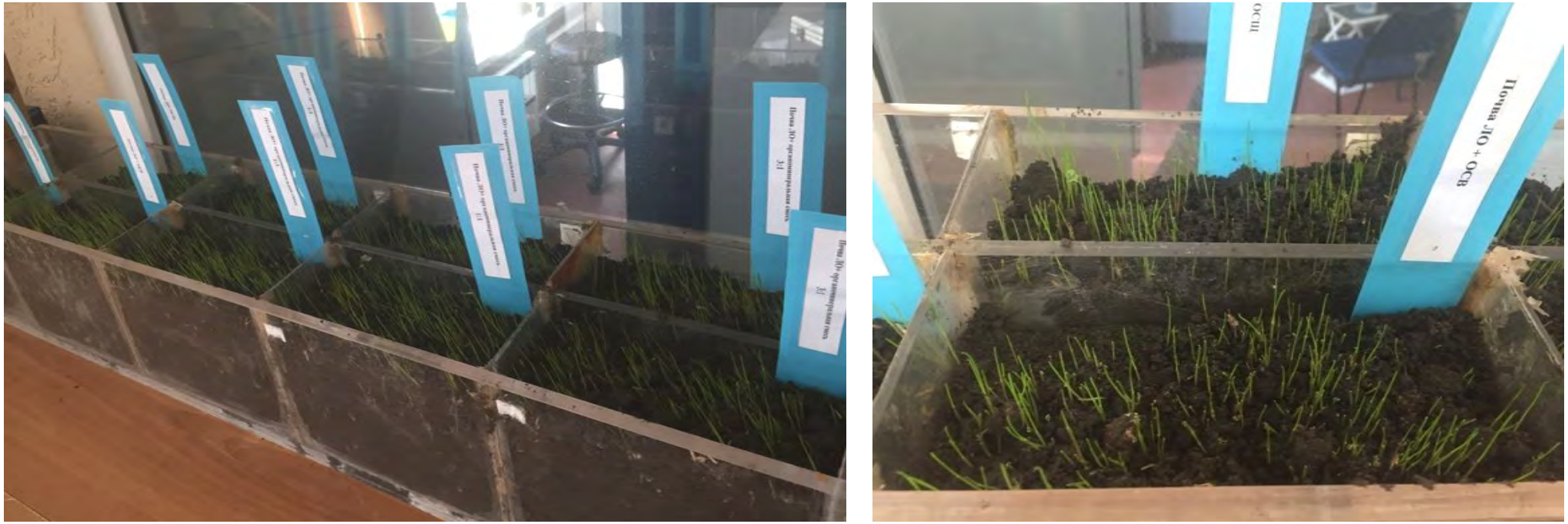

Рисунок 23 – Выращивание травосмеси (2 неделя)

Рисунок 24 – Выращивание травосмеси до подстригания аэральной части биомассы (3 неделя)

Рисунок 25 – Выращивание травосмеси до подстригания аэральной части биомассы (4 неделя)

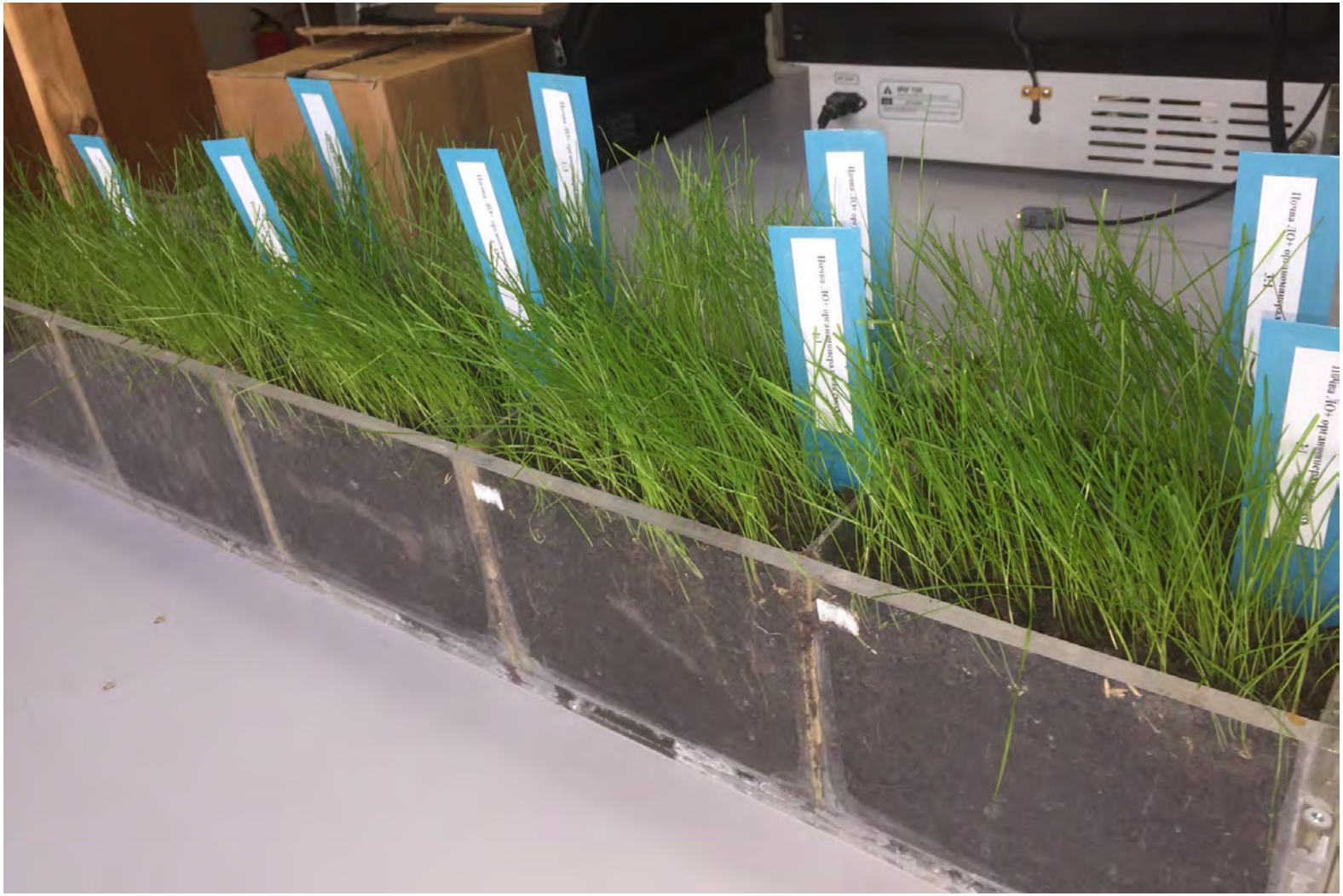

Рисунок 26 – Выращивание травосмеси до подстригания аэральной части биомассы (5 неделя)

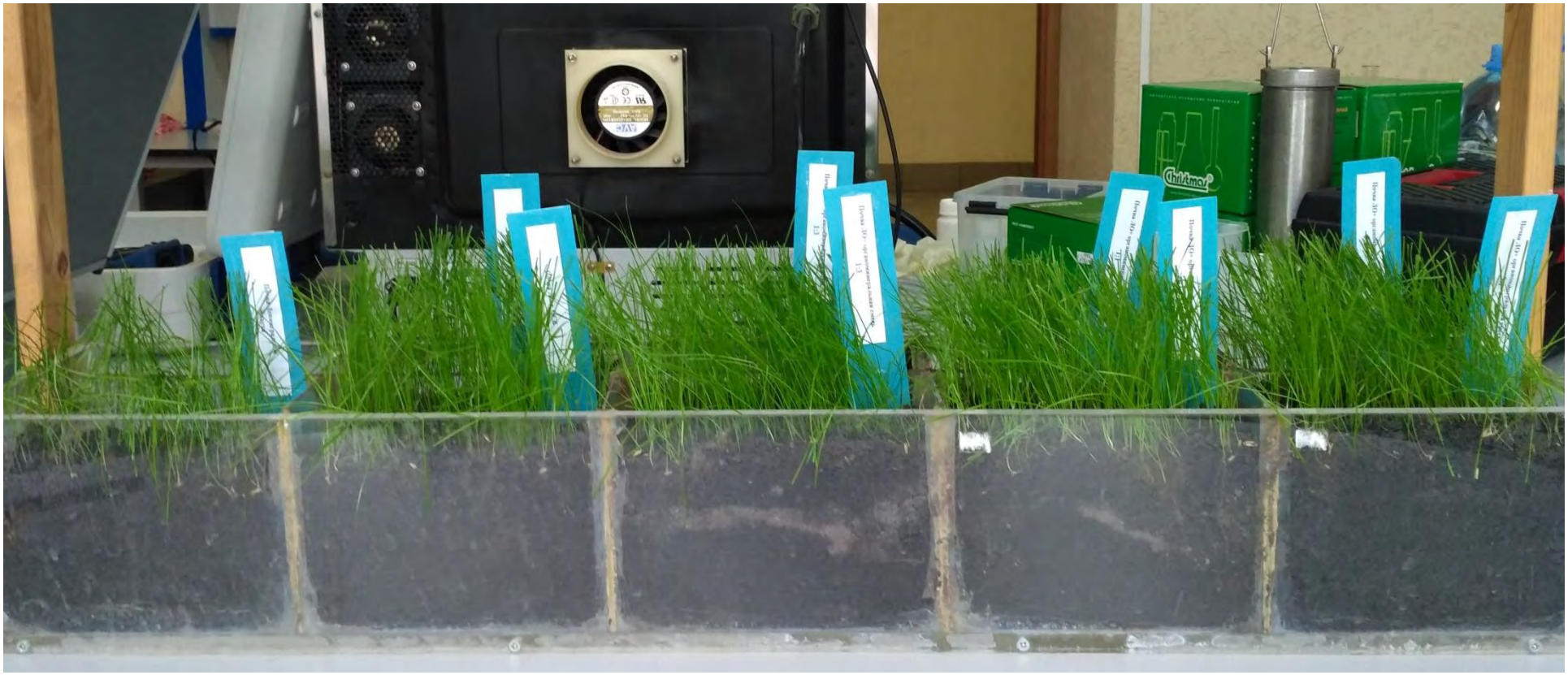

Рисунок 27 – Выращивание травосмеси после подстригания аэральной части биомассы (6 неделя)

Рисунок 28 – Выращивание травосмеси до подстригания аэральной части биомассы (7 неделя)

Рисунок 29 – Выращивание травосмеси до подстригания аэральной части биомассы (8 неделя)

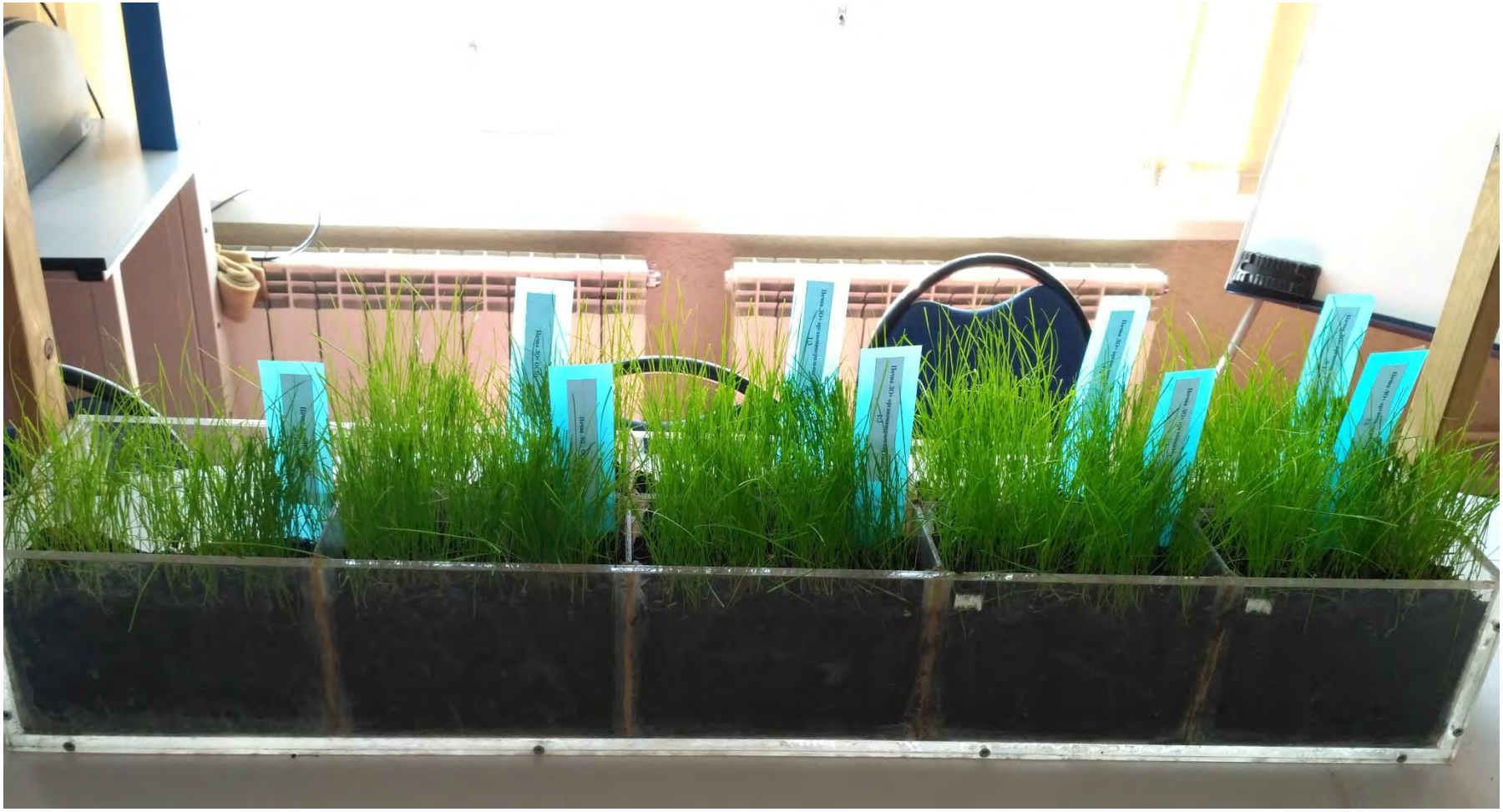

Рисунок 30 – Выращивание травосмеси до подстригания аэральной части биомассы (9 неделя)

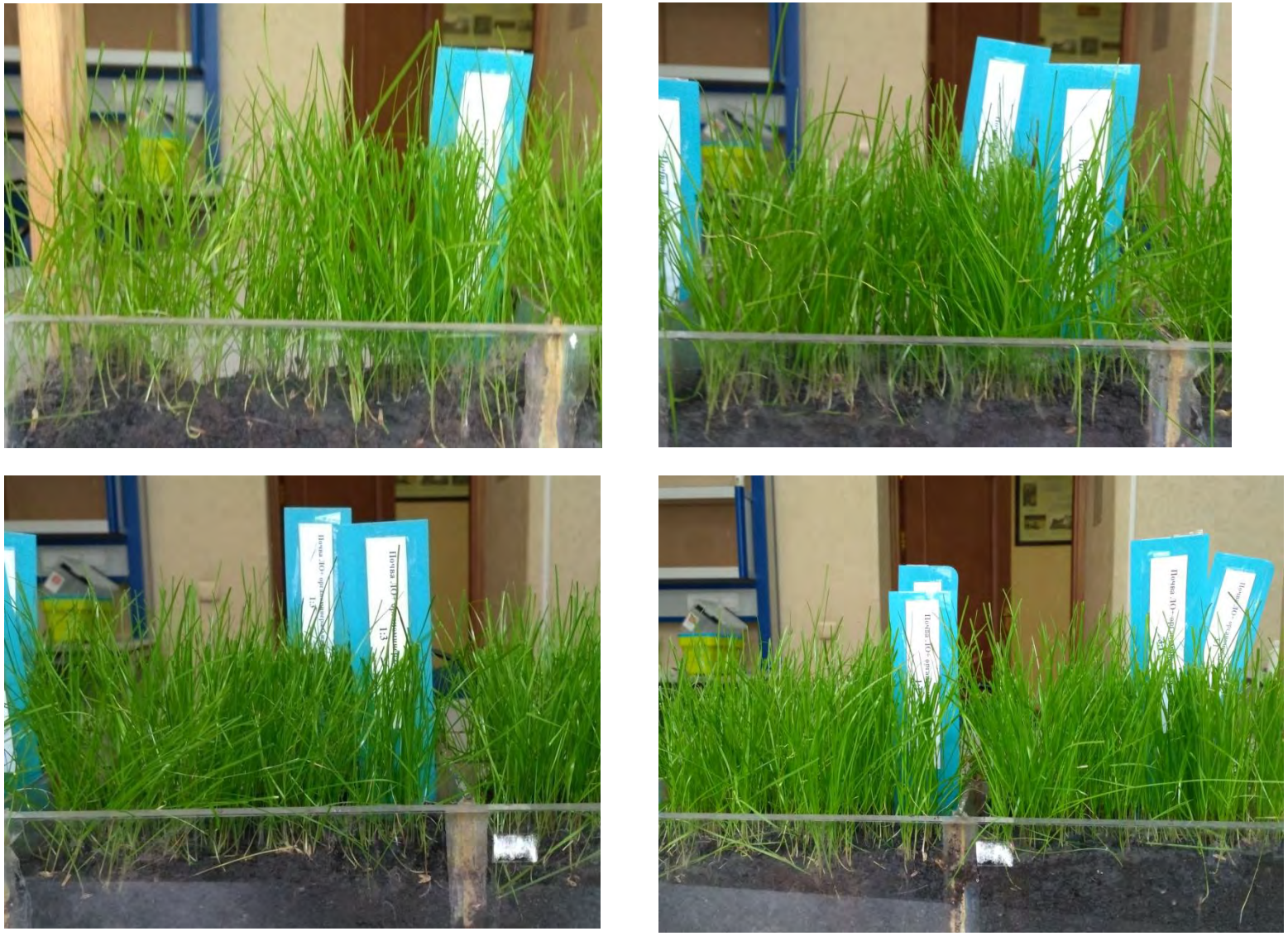

Рисунок 31 – Выращивание травосмеси после подстригания аэральной части биомассы (10 неделя)

Рисунок 32 – Выращивание травосмеси до подстригания аэральной части биомассы (11 неделя)

Рисунок 33 – Выращивание травосмеси после подстригания аэральной части биомассы (12 неделя)

Рисунок 34 – Выращивание травосмеси после подстригания аэральной части биомассы (13 неделя)

Рисунок 35 – Выращивание травосмеси после подстригания аэральной части биомассы (14 неделя)

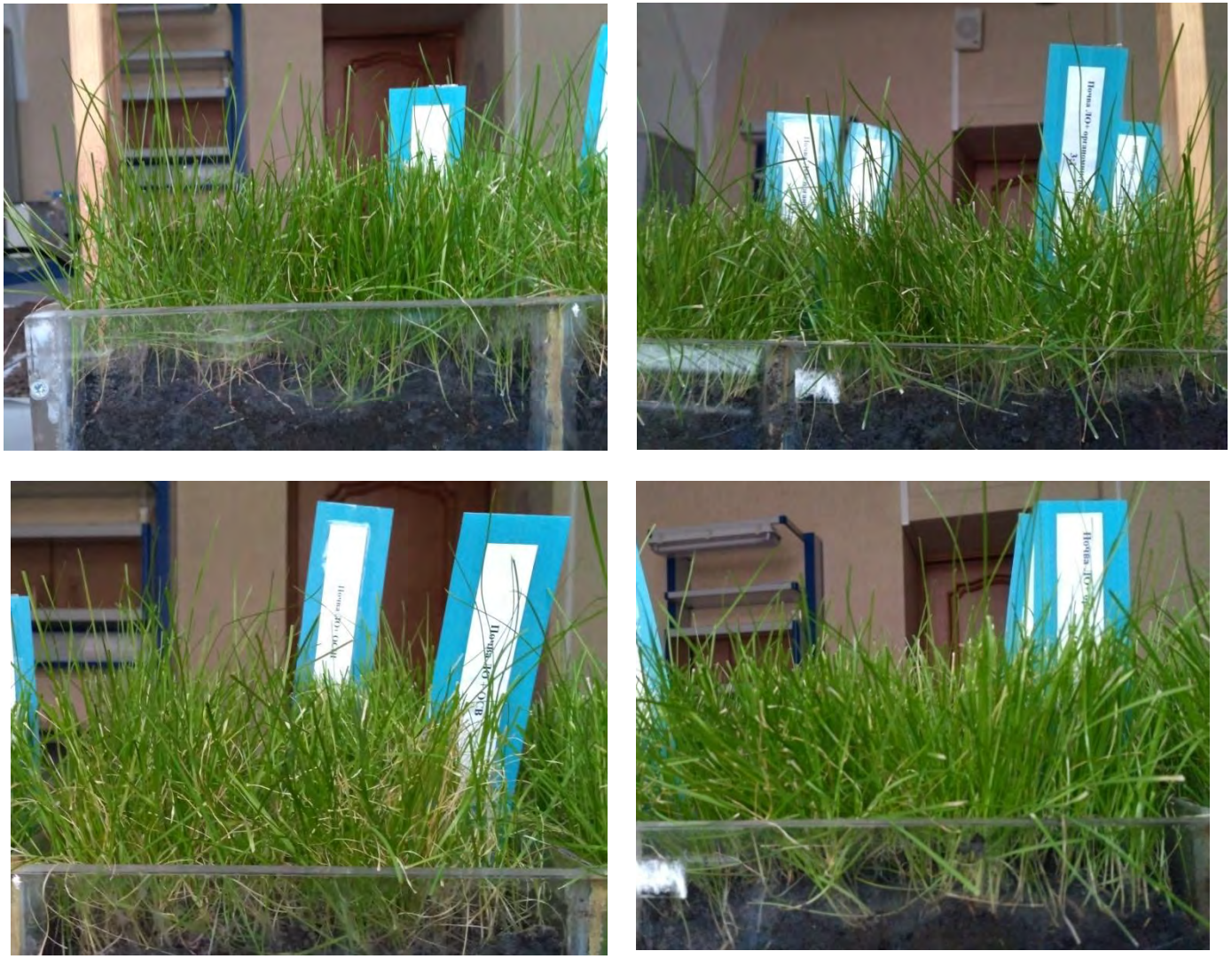

Рисунок 36 – Выращивание травосмеси до подстригания аэральной части биомассы (15 неделя)

Рисунок 37 – Выращивание травосмеси до подстригания аэральной части биомассы (16 неделя)

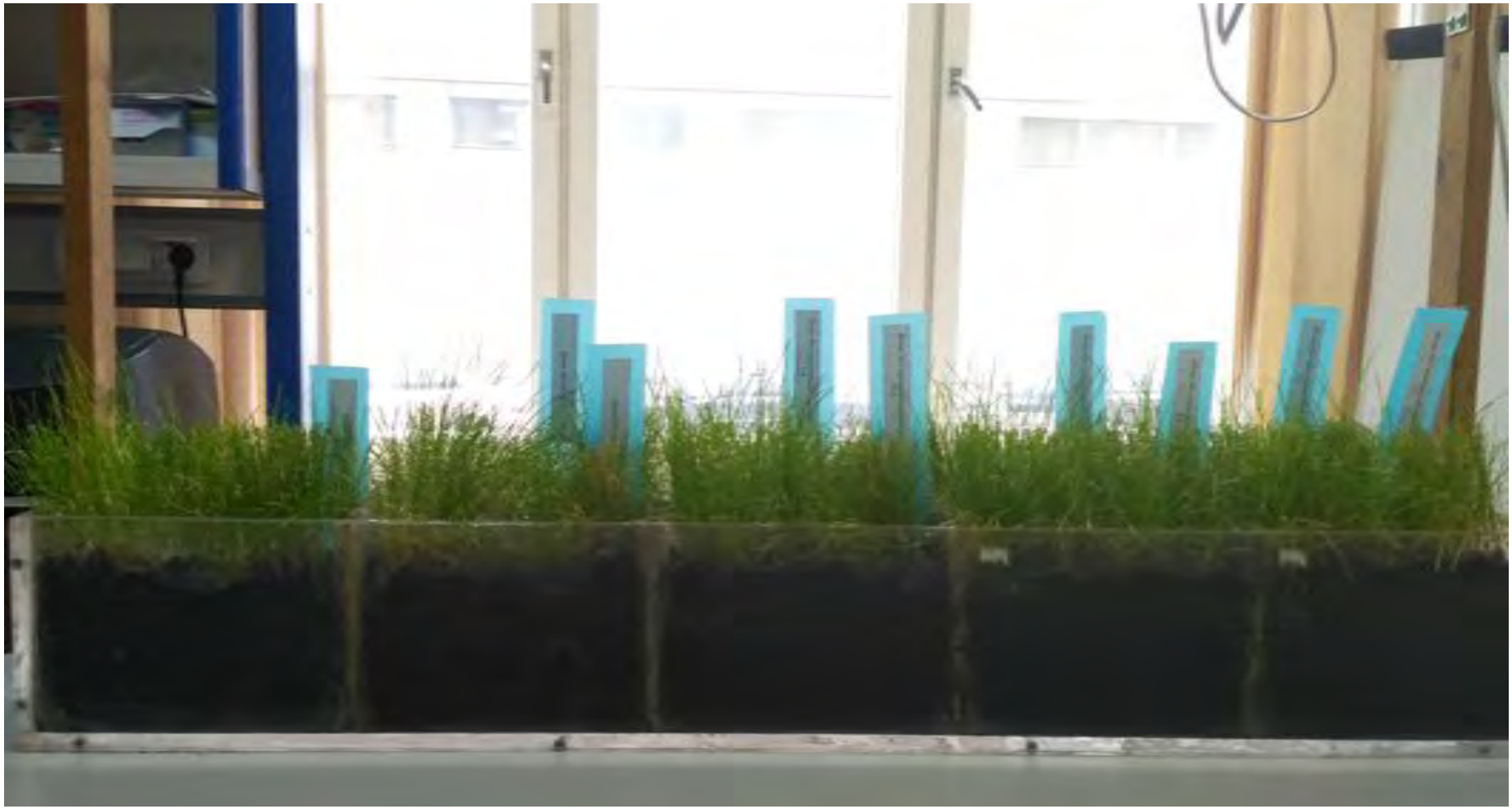

Рисунок 38 – Выращивание травосмеси после подстригания аэральной части биомассы (17 неделя)

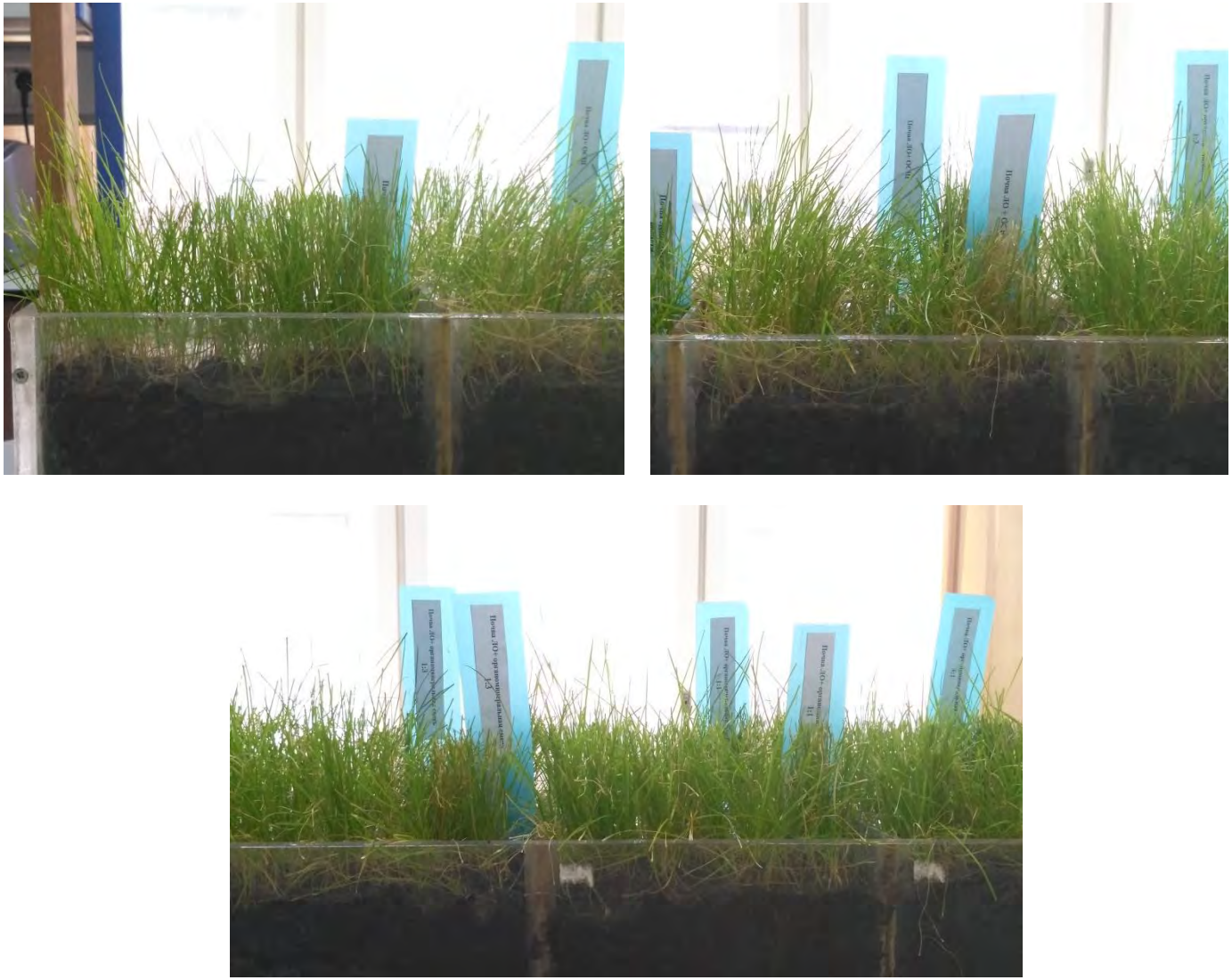

Рисунок 39 – Выращивание травосмеси до подстригания аэральной части биомассы (18 неделя)

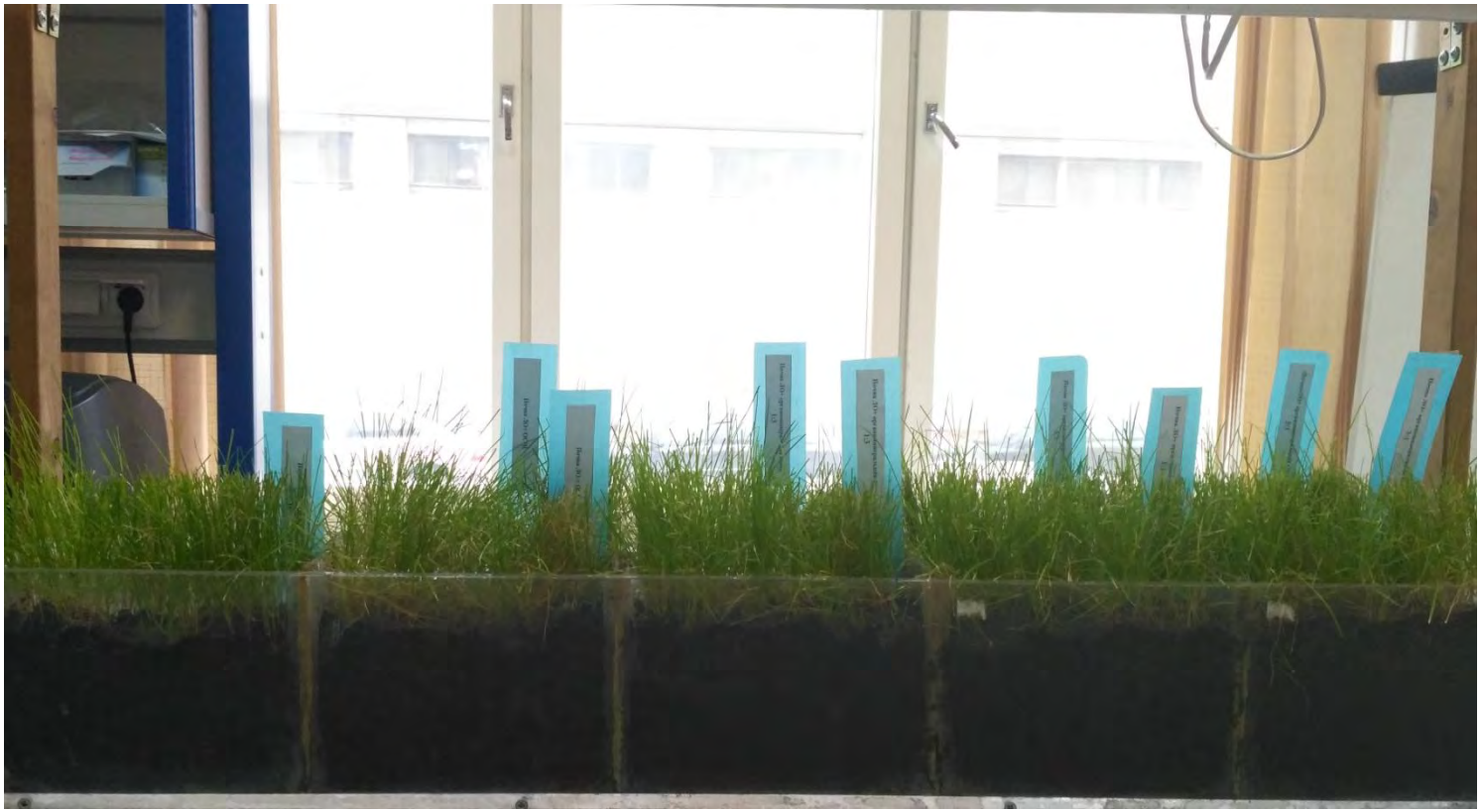

Рисунок 40 – Выращивание травосмеси после подстригания аэральной части биомассы (19 неделя)

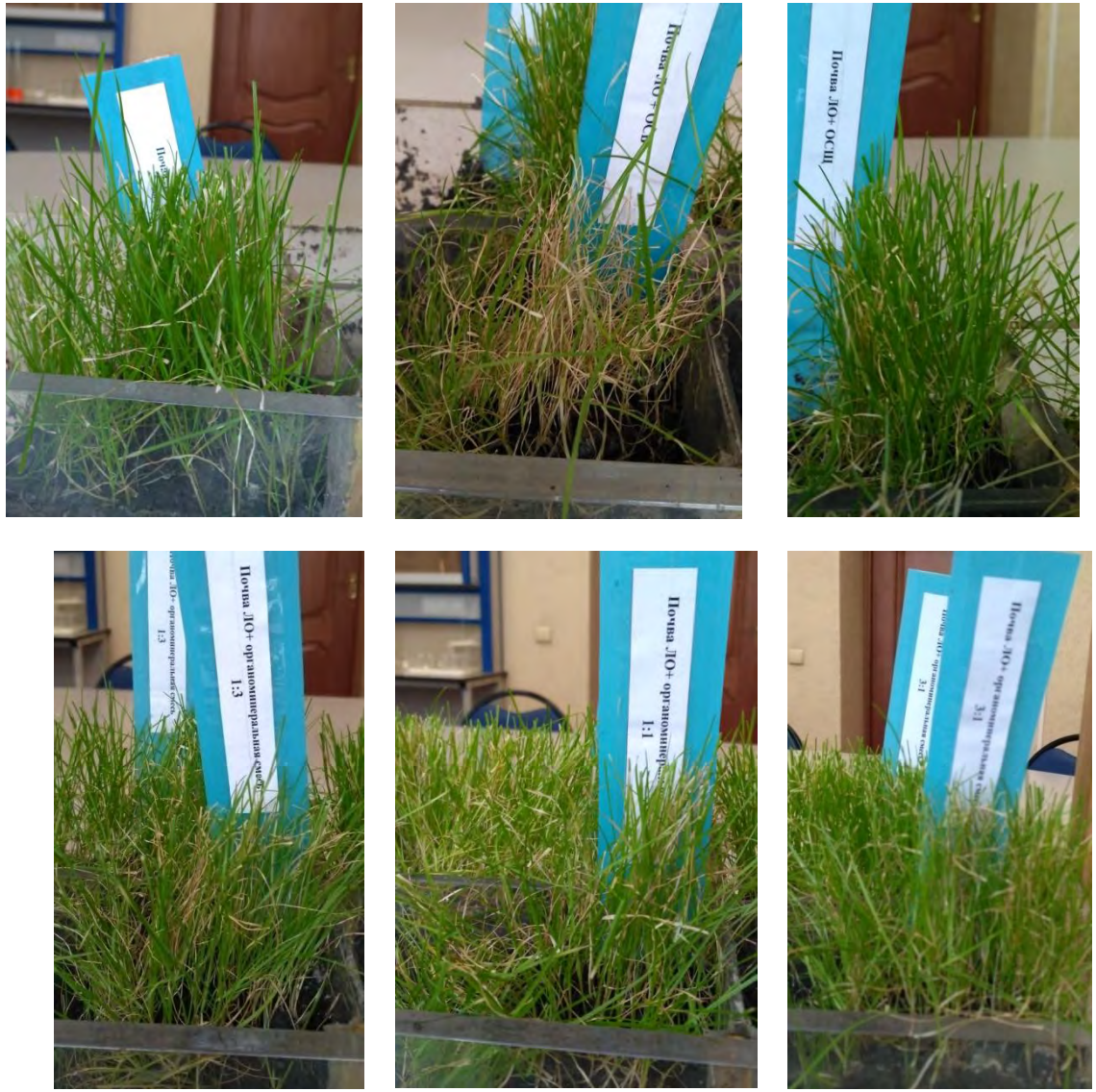

Рисунок 41 – Выращивание травосмеси после подстригания аэральной части биомассы (20 неделя)