ТРУДЫ САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКОГО
НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОГО
ИНСТИТУТА ЛЕСНОГО ХОЗЯЙСТВА

www.journal.spb-niilh.ru
ISSN 2079-6080

DOI 10.21178/2079-6080.2024.3.132
УДК 630*424.5:630*181.525

Проверка на фитотоксичность осадков ванн гальванического производства в качестве минеральной добавки в субстрат при проращивании семян сосны обыкновенной и ели европейской

© С.Н. Сорокин, Д.А. Шабунин, О.Ю. Бутенко, А.В. Клименок

Testing the phytotoxicity of galvanic bath sediments as a mineral additive in substrate for growing pine and spruce seeds

S.N. Sorokin, D.A. Shabunin, O.Yu. Butenko, A.V. Klimenok (Saint Petersburg Forestry Research Institute)

This paper presents the results of studies on the impact of electroplating bath sludge (EBS) on the phytotoxicity during the germination of Scots pine and European spruce seeds. The study was prompted by laboratory analysis results of EBS, which showed a composition similar to the mineral additives found in complex mineral fertilizers used in forest nurseries for growing tree seedlings. Tests were conducted in five variants with three repetitions for each variant: four types of EBS from different production lines and a mixture of all four sludges in equal proportions. Each sludge or mixture was incorporated into a soil substrate made of high peat (with a neutralizer – limestone flour – and complex mineral fertilizers) at concentrations of 100, 1000 and 10000 mg/kg. Control seed sowing was done on a standard peat mixture used in forest nurseries for growing coniferous seedlings with a closed root system. Seed germination was tested on Jacobsen tables. Observation results showed no phytotoxicity during the germination of both pine and spruce seeds when EBS was added to the peat mixture. It was noted that EBS in soil substrates significantly accelerated seed germination compared to the standard peat substrate, induced hypocotyl growth; however, at high concentrations (10000 mg/kg), a noticeable inhibition of root growth was observed, leading to seedlings collapsing due to mechanical impact from water droplets during watering. Sludge no. 4 in the substrate had the most favorable effect on seed germination and seedling growth for both pine and spruce. Further research is needed under forest nursery conditions for both tree species.

Key words: electroplating bath sludge, phytotoxicity, seeds, *Pinus sylvestris* L., *Picea abies* (L.) H. Karst.

Проверка на фитотоксичность осадков ванн гальванического производства в качестве минеральной добавки в субстрат при проращивании семян сосны обыкновенной и ели европейской

С.Н. Сорокин, Д.А. Шабунин, О.Ю. Бутенко, А.В. Клименок

В настоящей работе показаны результаты исследований на фитотоксичность осадков ванн гальванического производства (ОВГП) при проращивании семян сосны обыкновенной и ели европейской. Поводом послужили результаты лабораторного анализа ОВГП, проведенного ООО «Экоаналитическая лаборатория центра сертификации производственных объектов» (лицензия № Л039-00117-77/00623235 ГМ от 31.10.2022), которые по своему составу оказались близкими к минеральным добавкам в комплексных минеральных удобрениях, применяемых в лесных питомниках при выращивании сеянцев древесных пород. Испытания проводились в пяти вариантах в трехкратной повторности каждого: исследовались четыре вида ОВГП с разных производственных линий и смесь всех четырех осадков в равных пропорциях. ОВГП в концентрациях 100, 1000 и 10000 мг/кг вносилась в готовый почвенный субстрат из верхового торфа. Предварительная проверка качества семян на всхожесть проводилась на столах Якобсона; показатели всхожести, полученные в ходе этой проверки, служили контролем в опыте. Результаты наблюдений показали отсутствие фитотоксичности – при проращивании семян, как сосны, так и ели – при внесении ОВГП в торфосмесь. Отмечено, что внесение в состав почвенных субстратов этой добавки в небольших концентрациях вызывает заметное ускорение прорастания семян и индуцирует рост гипокотиля. Однако, при высокой концентрации (10000 мг/кг) наблюдается заметное ингибирование роста корневой части всходов, вследствие чего происходит полегание сеянцев от механического воздействия капель воды при поливах. Выявлен наиболее эффективный вариант добавки ОВГП (осадок № 4), который оказывает самое благоприятное влияние на всхожесть семян и рост проростков обеих древесных пород. Полученные результаты требуют продолжения исследования в условиях лесного питомника.

Ключевые слова: отходы гальванического производства, фитотоксичность, семена, всхожесть, сосна обыкновенная, ель европейская

Сорокин Сергей Николаевич – начальник НИО лесовосстановления и лесоразведения, канд. биол. наук
E-mail: ssn1007@mail.ru

Шабунин Дмитрий Александрович – вед. науч. сотр. НИО селекции, воспроизводства и химического ухода за лесом, канд. биол. наук
E-mail: ds1512@mail.ru

Бутенко Олеся Юрьевна – ст. науч. сотр. НИО селекции, воспроизводства и химического ухода за лесом, канд. с.-х. наук
E-mail: din_don@bk.ru

Клименок Анастасия Валерьевна – специалист НИО лесовосстановления и лесоразведения
E-mail: ivanivanov7890@bk.ru

ФБУ «Санкт-Петербургский научно-исследовательский институт лесного хозяйства»
194021 г. Санкт-Петербург, Институтский пр., д. 21
Телефон: +7 (812) 552-80-21

Введение

Проблема вторичного использования, вовлечения в хозяйственный оборот отходов промышленного и сельскохозяйственного производства известна давно и, в той или иной степени, она находит свое решение, но, главным образом, это касается сравнительно безвредных, относящихся к IV и V классам опасности веществам (отходы деревообработки, сельскохозяйственного производства, отдельных видов минеральных ресурсов и проч.). С отходами I, II и III классов опасности всё значительно сложнее и хотя последние составляют менее 0,3 % от общего объема опасных отходов, но в абсолютных величинах их объем не так уж и мал – около 20 млн т ежегодно [7]. Не рассматривая ситуацию с отходами I и II классов как особо опасных, IV и V классов – как относительно безопасных, видим, что утилизация отходов III класса опасности как «...использование отходов для производства товаров (продукции), ..., включая повторное применение отходов, ..., их возврат в производственный цикл после соответствующей подготовки (регенерация), извлечение полезных компонентов для их повторного применения (рекуперация), ... соответствующих требованиям законодательства Российской Федерации...» значительно отстает и сводится к их размещению на полигонах или свалках. Одной из составляющих в общем объеме ежегодно образующихся отходов III класса опасности являются осадки ванн гальванического производства, представляющие собой смесь в достаточно высокой концентрации тех или иных металлов с остатками хромовой кислоты, многие из которых необходимы и применяются при подкормке растений на разных стадиях их развития. Из лесоводственной практики известно, что для получения хороших жизнеспособных сеянцев древесно-кустарниковых растений (ДКР) необходимо обеспечить их легкодоступным, оптимально сбалансированным питанием как макроэлементами (азот, фосфор, калий, кальций, магний, сера, кремний), так и разнообразными минеральными добавками – микроэлементами (марганец, цинк, медь, молибден, бор и др.) [4]. Роль микроэлементов в жизни растений чрезвычайно важна, хотя потребность в них не исчисляется большими количествами. Они участвуют в биохимических процессах (фотосинтез, биосинтез хлорофилла, транспорт сахаров), влияют на деятельность ферментов, углеводный и азотистый обмен. Даже незначительные добавки микроудобрений могут оказывать благотворное действие, улучшая защитные свойства ДКР, их устойчивость к климатическим особенностям (засухо-, жаро- и холодостойкость), к различным заболеваниям. При этом важно учитывать влияние как макро-, так и микроэлементов на рост и развитие растений. В России ежегодно производится около 26 млн т минеральных удобрений, в основе которых – азот (около 12,5 млн т), фосфор (4,4 млн т) и калий (9,1 млн т). Значительная их часть приходится на комплексные удобрения для нужд растениеводства, в состав которых вводятся добавки микроэлементов [7]. Производство последних требует применения специальных технологий и различных видов сырья. С другой стороны, на различных предприятиях образуются отходы, которые по своему составу могут использоваться, без затратных доработок, в качестве органических (например, илы осадков сточных вод) [1, 2], или минеральных [3, 11] удобрений. ОВГП по своему минеральному составу вызывают интерес с точки зрения возможности использования их в качестве минеральной добавки при выращивании ДКР, как в открытом грунте, так и в тепличных хозяйствах лесных питомников. Учитывая, что ОВГП относятся к III классу опасности, нерадиоактивны, есть основания полагать, что, если в результате электрохимических процессов в них не образуются соединения, фитотоксичные для растений, ОВГП можно рекомендовать для применения в качестве микроудобрений. В этом случае ОВГП могут квалифицироваться как «товарный продукт», а не как «отходы производства».

Методика проведения исследований

1. Предельно допустимая концентрация (ПДК), кларк и фоновый уровень хрома в почвах

На предприятии, промышленные отходы которого мы тестировали в своей работе, производят хромирование изделий из черных металлов, в связи с чем содержание этого химического элемента в ОВГП максимально –

до 330 000 мг/кг; присутствуют в составе осадка также кальций, цинк, никель, медь, железо, алюминий, сульфаты в разных пропорциях, в зависимости от состава металлов, подвергаемых обработке, но в количествах, на порядок меньше хрома. Установленный класс опасности – III. В соответствии с нормативными документами [8, 9], уровень содержания хрома в почве в подвижных формах не должен превышать 6 мг/кг трехвалентного и/или 0,05 мг/кг шестивалентного хрома, поскольку его фитотоксичность непосредственно зависит от валентности, которая, в свою очередь, повышает степень подвижности элемента и усвояемость его растениями. Вместе с тем, кларк по хрому составляет 300 мг/кг, а региональный фоновый уровень может заметно варьировать, например, в Самарской области он составляет 102 мг/кг [5], а в Ленинградской – 96 мг/кг [6].

В соответствии с лабораторными данными анализа ОВГП и с учетом возможного в будущем применения их в качестве минеральной добавки в почвы в Ленинградской области, лабораторные исследования начали со стартовой концентрации 100 мг/кг.

2. ОВГП и субстрат для выращивания

Для испытаний были взяты отдельно четыре вида осадков (варианты №№ 1–4), которые представляли собой вязко-пластичные обводненные массы (рис. 1) и смесь осадков в равных пропорциях (вариант № 5).

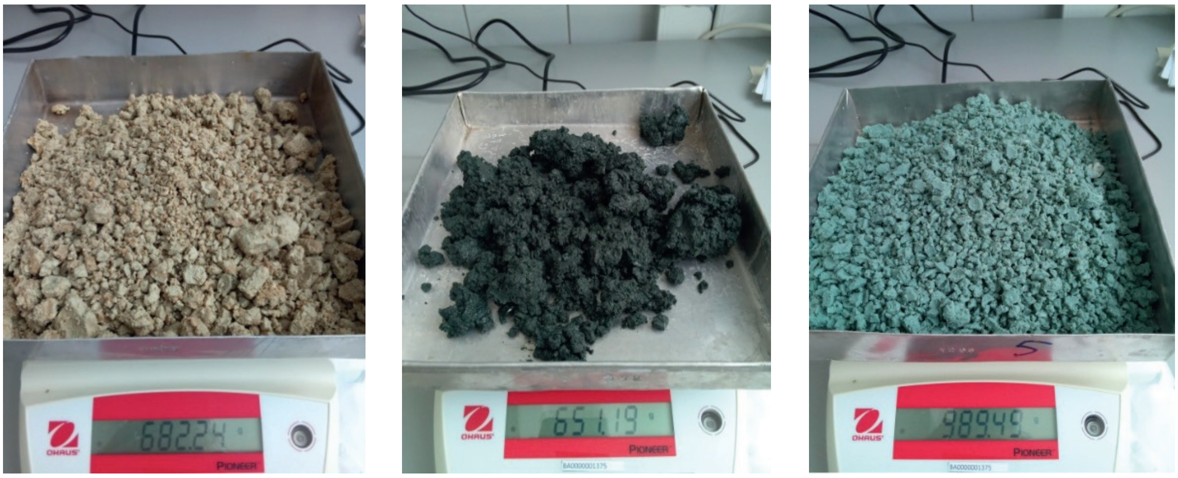

Рис. 1. Образцы осадков №№ 1, 2, 3 в исходном состоянии

Образцы были высушены при температуре 105 °С до абсолютно сухой массы и растерты в фарфоровой ступке до пылевидного состояния. Влажность полученных образцов приведена в таблице 1. Полученный материал использовался для отбора аликвот при составлении смеси осадков и торфа в определенных соотношениях.

Таблица 1

Характеристика влажности образцов ОВГП

Номер и цвет осадка	Масса образца, г		Влажность, %
	Во влажном состоянии	В абс. сухом состоянии	
1 – желтый	451	91	79,8
2 – темно-синий	383	65	83,0
3 – светло-синий	756	176	76,7
4 – белый, с серым слоем	299	195	34,8

Для закладки вегетационного опыта были использованы пластиковые контейнеры размером 108 × 82 × 48 мм, емкостью 250 мл. В качестве почвенного субстрата для выращивания растений использована готовая торфяная питательная смесь производства торфопредприятия «Пельгорское-М» (Ленинградская обл.) [10], которая изготовлена из верхового торфа низкой степени разложения с добавлением известняковой муки и комплексного удобрения (табл. 2).

Таблица 2

Характеристика торфяного питательного субстрата

Показатель	Численное значение
Азот (N), мг/100 г сух. в-ва	140–180
Фосфор (P_2O_5), мг/100 г сух. в-ва	120–160
Калий (K_2O), мг/100 г сух. в-ва	180–210
Кальций (CaO), мг/100 г сух. в-ва	3500–4000
Кислотность, pH (KCl)	5,5–6,0
Органическое вещество (не менее), %	85

Одной из задач закладываемого опыта была оценка фитотоксичности исследуемых осадков. Для этого были выбраны три последовательно возрастающие концентрации ОВГП в торфяном субстрате, используемом для выращивания сеянцев: 100, 1000 и 10000 мг на 1 кг абсолютно сухого торфа. Помимо четырех видов осадков была испытана и их смесь в соотношении 1:1:1:1. Каждый контейнер был заполнен полученной смесью в количестве 20 г.

3. Посев семян

Объектами испытания являлись семена сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.), собранные в Гатчинском лесничестве Ленинградской области, и семена ели европейской (*Picea abies* (L.) H. Karst.) – из Новгородского лесничества Новгородской области.

Перед началом собственно экспериментов у семян определялись энергия прорастания и всхожесть (ГОСТ 13056.6–97), класс качества (ГОСТ 14161–86). Тестирование проводилось на столе Якобсона. 22.02.2023. Перед посевом семена выдерживались в 0,3 % растворе перманганата калия ($KMnO_4$) в течение 2-х часов.

Оценку и учёт проклюнувшихся семян сосны проводили на пятые сутки после раскладки их на проращивание. На девятые сутки нормально проросшими считались семена, у которых развились здоровые корешки длиной не менее самого семени, гипокотили еще не развились. Семена ели начали прорастать с задержкой в 5–7 дней относительно сосны. Показатели качества посевного материала представлены в таблице 3.

Таблица 3

Характеристика посевного материала

Порода	Энергия прорастания, %	Всхожесть, %	Класс качества
Picea abies (L.) H. Karst	80	87	1
Pinus sylvestris L.	91	93	1

Таким образом, было подтверждено высокое качество партии семян, приготовленных к посеву на опытных субстратах, обеспечивающее их нормальное прорастание в контролируемых лабораторных условиях.

Посев семян в пластиковые контейнеры был произведен 5 марта по 50 шт. в каждый из них, в субстраты с ОВГП в трехкратной повторности вариантов. Семена раскладывались на поверхности субстрата и заглублялись на 2–3 мм (рис. 2).

Рис. 2. Семена ели после посева

Посевы ежедневно инспектировались, контейнеры взвешивались и субстраты доводились путем полива до первоначальной влажности (70 %). Учет всхожести производился на 8-е, 11-е, 15-е, и 30-е сутки после посева, данные наблюдений по каждому варианту субстратов (в составе трех контейнеров) суммировались по каждой породе отдельно. Контролем служили показатели всхожести семян при тестировании их на столе Якобсона.

Результаты исследований и их обсуждение

Результаты исследования динамики всхожести семян в зависимости от концентрации ОВГП в субстрате приведены в таблицах 4 и 5.

Таблица 4

Динамика всхожести семян сосны обыкновенной на субстратах с ОВГП в разных концентрациях

Вариант опыта	Всхожесть семян в зависимости от концентрации ОВГП в субстрате, по срокам учета, %											
	8-е сутки			11-е сутки			15-е сутки			30-е сутки		
	Концентрация ОВГП в субстрате, мг/кг											
	100	1000	10000	100	1000	10000	100	1000	10000	100	1000	10000
Субстрат с осадком № 1	30	50	27	43	67	37	43	73	51	56	75	57
Субстрат с осадком № 2	48	32	31	51	32	41	51	37	43	53	37	58
Субстрат с осадком № 3	27	31	36	44	35	45	49	44	55	52	47	56
Субстрат с осадком № 4	41	62	43	50	71	47	59	79	64	63	81	64
Субстрат со смесью осадков (вар. № 5)	41	30	66	50	43	76	59	49	79	59	53	86

Во всех вариантах с ОВГП происходило массовое проклевывание семян сосны уже на третий день после посева (рис. 3) и активный рост гипокотиля в последующие дни (рис. 4).

Рис. 3. Прорастание семян сосны (3-е сутки после посева)

Рис. 4. Формирование гипокотиля сосны (8-е сутки после посева)

Как видим из приведенных данных, наблюдается значительный разброс показателей всхожести во всех вариантах, что отчасти можно объяснить большой разницей в концентрациях осадков в субстрате. Следует отметить, что при очень быстром росте гипокотиля в вариантах с высоким процентом всхожести происходит некоторое угнетение роста корневой системы.

Если сравнить всхожесть сосны на субстратах с ОВГП с идеальными условиями (стол Якобсона), то в вариантах №№ 1, 4 и 5 пусть и в необъяснимой пока последовательности, результаты вполне сопоставимы. В вариантах №№ 2 и 3 показатели заметно хуже, однако присутствие этих добавок в общей смеси (вариант № 5) критически общую картину не испортило.

Самым важным фактом во всех вариантах является отсутствие пожелтения и увядания гипокотиля вплоть до срока формирования первой розетки хвои, что говорило бы о проявлении фитотоксичности.

Таблица 5

Динамика всхожести семян ели европейской на субстратах с ОВГП в разных концентрациях

Вариант опыта	Всхожесть семян в зависимости от концентрации ОВГП в субстрате, по срокам учета, %											
	8-е сутки			11-е сутки			15-е сутки			30-е сутки		
	Концентрация ОВГП в субстрате, мг/кг											
	100	1000	10000	100	1000	10000	100	1000	10000	100	1000	10000
Субстрат с осадком № 1	32	18	23	48	27	31	63	45	48	66	47	59
Субстрат с осадком № 2	11	16	16	24	27	30	40	28	36	45	35	41
Субстрат с осадком № 3	11	9	11	25	27	25	51	53	49	65	56	57
Субстрат с осадком № 4	5	7	5	31	30	24	64	58	57	74	69	65
Субстрат со смесью осадков (вар. № 5)	9	16	17	21	44	37	53	53	45	59	54	56

Прорастание семян ели по сравнению с семенами сосны в опыте начиналось с отставанием на те же 5–7 дней, что и при тестировании семян, но затем этот процесс, как и рост гипокотиля происходили интенсивно (рис. 5 и 6), и к последнему сроку учета показатели были близки к данным, полученным по сосне – во всех вариантах.

Рис. 5. Прорастание семян ели (8-е сутки после посева)

Рис. 6. Формирование сеянцев ели (15-е сутки после посева)

Значительный разброс показателей всхожести по вариантам объяснить, как и в случае с сосной, достаточно сложно. Но, если сравнивать процент всхожести семян ели на субстратах с разной концентрацией ОВГП с идеальными лабораторными, то как минимум в вариантах №№ 1 и 4, пусть и в необъяснимой пока последовательности, результаты вполне сопоставимы и корректны. Следует отметить увеличение числа (живых) упавших сеянцев при концентрации 10000 мг/кг осадка в субстрате (вследствие недоразвитой корневой системы). Наименьшая всхожесть наблюдается в варианте № 2 и несколько лучше – в варианте № 3, что, возможно, повлияло на всхожесть семян ели в варианте № 5 со смесью ОВГП.

Как и в случае с сосной, во всех вариантах отмечено отсутствие пожелтения и увядания гипокотиля, а позднее и хвои, что говорило бы о проявлении фитотоксичности.

Выводы

1. Во всех пяти вариантах субстратов с разными концентрациями ОВГП на всходах сосны обыкновенной и ели европейской признаков фитотоксичности не выявлено.

2. Осадки гальванических ванн в составе почвенных субстратов оказывают заметное ускорение прорастания семян, индуцируют рост гипокотиля.

3. При высоких концентрациях (10000 мг/кг) отмечено некоторое ингибирование роста корневой части всходов.

4. Можно сделать предварительное заключение, что осадок № 4 во всех испытываемых концентрациях в субстрате оказывает наиболее благоприятное влияние на всхожесть семян и развитие всходов как сосны, так и ели.

5. Учитывая отсутствие фитотоксичности, положительный эффект стимулирования всхожести семян и ускорения роста всходов, необходимо продолжить исследования в условиях лесного питомника на обеих древесных породах.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Березовский, В.А. Опыт использования коркового перегноя из отвала ЦБК при выращивании сеянцев хвойных пород / В.А. Березовский. – Петрозаводск : КарНЦ АН СССР, 1990. – С. 26–33.
2. Водолеев, А.С. Результаты комплексной оценки биологической рекультивации техногенных ландшафтов с использованием осадков сточных вод / А.С. Водолеев, А.А. Степанов, С.А. Кудашкина // Биологическая рекультивация нарушенных земель : Материалы Международного совещания 3–7 июня 2002 г. / УрО РАН. – Екатеринбург, 2003. – С. 41–53.
3. Егорова, А.В. Влияние органоминерального алюмосодержащего субстрата на рост и микоризообразование сеянцев сосны обыкновенной / А.В. Егорова, Н.П. Чернобровкина, Е.В. Робонен, Л.А. Савельев, М.И. Зайцева, А.Н. Терновой // Лесоведение. – 2020. – № 1. – С. 76–86. – DOI: 10.31857/S0024114820010040.
4. Жигунов, А.В. Теория и практика выращивания посадочного материала с закрытой корневой системой / А.В. Жигунов. – СПб. : СПбНИИЛХ, 2000. – 293 с.
5. Казанцев, И.В. Содержание тяжелых металлов в почвенном покрове в условиях техногенеза / И.В. Казанцев, Т.Б. Матвеева. – Самара : Самарский научный вестник, 2016. – № 1 (14). – С. 34–37.
6. Матинян, Н.Н. Фоновое содержание тяжелых металлов и мышьяка в пахотных почвах Северо-Запада России / Н.Н. Матинян., К. Рейман, К.А. Бахматова, А.В. Русаков. – СПб. : Вестник Санкт-Петербургского университета. – 2007. – Серия 3, вып. 3. – С. 123–134.
7. Охрана окружающей среды в России : статистический сборник : официальное издание / редкол. : К.Э. Лайкам – пред. [и др.] – М. : Росстат, 2020. – 113 с. – ISBN 978-5-89476-495-5.
8. Перечень предельно допустимых концентраций (ПДК) и ориентировочно допустимых количеств (ОДК) химических веществ в почве : утв. зам. главного государственного санитарного врача СССР 19.11.1991 № 6229-91 : ввод в действие постановлением от 06.02.1992 № 1. – М. : изд-во Госкомсанэпиднадзора России, 1991. – 18 с.
9. Предельно допустимые концентрации (ПДК) химических веществ в почве: Гигиенические нормативы : утв. Руководителем Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека 19.01.2006 : введен в действие постановлением от 23.01.2006 № 1 с 01.04.2006. – М. : Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2006. – 15 с. – ISBN 5-7508-0599-9.
10. Торфопредприятие «Пельгорское-М» : сайт / Компания Торфопредприятие «Пельгорское-М». – Добыча и переработка торфа. – Поселок Рябово. – URL: www.pelgorskoe.ru (дата обращения: 14.05.2024).
11. Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Южно-Уральский государственный университет / Из бесполезного шлака в дробилку. – Челябинские.: 2024. – URL: https://www.susu.ru/ru/news/2024/08/19/iz-bespoleznogo-shlaka-v-drobilku-chelyabinskie-uchenye-po-maksimumu-ispolzuyut (дата обращения: 19.08.2024).

REFERENCES

1. Berezovsky V.A. Experience of using crust humus from a pulp and paper mill dump for growing conifer seedlings. Petrozavodsk, Karelian Research Center of the USSR Academy of Sciences, 1990, pp. 26–33. (In Russian).
2. Vodoleev A.., Stepanov A.A., Kudashkina S.A. Results of a comprehensive assessment of biological reclamation of technogenic landscapes using sewage. *Biological reclamation of disturbed lands, Proceedings of the 3rd International Conference on June 3–7, 2002 [Biologicheskaya rekul'tivatsiya narushennykh zemel'. Materialy Mezhdunarodnogo soveshchaniya 3–7 iyunya 2002 g., UrO RAN]*. Ekaterinburg, 2003, pp. 41–53. (In Russian).
3. Egorova A.V., Chernobrovkina N.P., Robonen E.V., Savelyev L.A., Zaitseva M.I., Ternovoy A.N. Effect of organomineral aluminum-containing substrate on the growth and mycorrhiza formation of Scots pine seedlings. *Forest Science [Lesovedenie]*, 2020, no. 1, pp. 76–86. DOI: 10.31857/S0024114820010040. (In Russian).
4. Zhigunov A.V. Theory and practice of growing planting material with a closed root system. Saint Petersburg, Saint Petersburg Forestry Research Institute, 2000, 293 p. (In Russian).
5. Kazantsev I.V., Matveeva T.B. The content of heavy metals in the soil cover under technogenesis conditions. Samara, *Samara Scientific Bulletin [Samarskij nauchnyj vestnik]*, 2016, no. 1 (14), pp. 34–37.

6. Matinyan N.N., Reiman K., Bakhmatova K.A., Rusakov A.V. Background content of heavy metals and arsenic in arable soils of North-West Russia. St. Petersburg, *Bulletin of St. Petersburg University [Vestnik Sankt-Peterburgskogo universiteta]*, 2007, series 3, iss. 3, pp. 123–134.
7. Environmental Protection in Russia, statistical digest, official publication. Editorial board: K.E. Laikam. Moscow, Rosstat, 2020, 113 p. ISBN 978-5-89476-495-5.
8. List of maximum permissible concentrations (MPC) and approximate permissible quantities (APC) of chemicals in the soil, approved by deputy. The main one State Sanitary Doctor of the USSR 19.11.1991 no. 6229-91, put into effect by Resolution no. 1 dated 02.06.1992. Moscow, Publishing House State Committee for Sanitary and Epidemiological Surveillance of the Russian Federation, izd-vo Goskomsanjepidnadzora Rossii, 1991, 18 p.
9. Maximum Permissible Concentrations (MPC) of Chemicals in Soil. Hygienic Standards, approved by the Head of the Federal Service for Surveillance on Consumer Rights Protection and Human Wellbeing on 01.19.2006, put into effect by Resolution no. 1 of 01.23.2006 from 04.01.2006. Moscow, Federal Center for Hygiene and Epidemiology of Rospotrebnadzor, 2006, 15 p. ISBN 5-7508-0599-9.
10. Peat company "Pelgorskoye-M". Website, Company Peat company "Pelgorskoye-M". Extraction and processing of peat. The village of Ryabovo. – URL: www.pelgorskoe.ru (date of access: 05/14/2024).
11. Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education "South Ural State University". From useless slag to a crusher. Chelyabinsk, 2024. URL: https://www.susu.ru/ru/news/2024/08/19/iz-bespoleznogo-shlaka-v-drobilku-chelyabinskie-uchenye-po-maksimumu-ispolzuyut (date of access: 08/19/2024).

Статья поступила в редакцию 09.09.2024