



БИОЛОГИЧЕСКИЕ РЕСУРСЫ

BIOLOGICAL RESOURCES

DOI: 10.22363/2313-2310-2022-30-3-280-291

УДК 504.064.2

Научная статья / Research article

Оценка фитотоксичности золошлаковых отходов от котельных малой мощности и индивидуальных отопительных систем на примере пгт. Шахтерск Сахалинской области

Е.В. Дахова^{ID}✉, Л.П. Майорова^{ID}, А.И. Лукьянов^{ID}*Тихоокеанский государственный университет (ТОГУ), Хабаровск, Российская Федерация*
✉010770@pnu.edu.ru

Аннотация. Актуальность работы обусловлена исследованием вопроса по утилизации и возможному использованию золошлаковых отходов в условиях малых городов, в частности на территории Дальнего Востока, где преобладающими типами отопления являются котельные малой мощности либо индивидуальные отопительные системы. Наиболее простыми и наглядными методами оценки воздействия образующихся отходов на окружающую среду являются биоиндикационные методы, в частности оценка фитотоксичности. Проведен анализ фитотоксического эффекта золошлаковых отходов разного происхождения и различных сроков лежалости, а также образцов угля в условиях пгт. Шахтерск Сахалинской области, по отношению к травянистым растениям различных систематических групп в рамках постановки ряда лабораторных экспериментов. Определен фитотоксический эффект рассматриваемых образцов путем сопоставления показателей тест-функции контрольных и опытных семян. Показана зависимость величины фитотоксического эффекта от срока лежалости и типа происхождения золошлаковых отходов. Полученные данные являются основой для проведения дополнительных опытов и изучения, а также определения химического состава рассматриваемых образцов.

Ключевые слова: золошлаковые отходы, ЗШО, печное отопление, котельное отопление, фитотоксичность, фитотоксический эффект

© Дахова Е.В., Майорова Л.П., Лукьянов А.И., 2022

This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License
<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/legalcode>

Вклад авторов: *Е.В. Дахова* – отбор проб, проведение опыта, обработка полученных данных и их интерпретация, написание текста; *Л.П. Майорова* – концепция исследования, методология, критический анализ текста; *А.И. Лукьянов* – обработка полученных данных и их интерпретация, написание текста. Все авторы участвовали в обсуждении итогов и подготовке заключения.

История статьи: поступила в редакцию 12.04.2022; принята к публикации 13.05.2022.

Для цитирования: *Дахова Е.В., Майорова Л.П., Лукьянов А.И.* Оценка фитотоксичности золошлаковых отходов от котельных малой мощности и индивидуальных отопительных систем на примере пгт. Шахтерск Сахалинской области // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Экология и безопасность жизнедеятельности. 2022. Т. 30. № 3. С. 280–291. <http://doi.org/10.22363/2313-2310-2022-30-3-280-291>

Assessment of phytotoxicity of ash and slag waste from low-capacity boiler houses and individual heating systems on the example of the town Shakhtersk, Sakhalin region

Ekaterina V. Dakhova  , Ludmilla P. Mayorova , Alexey I. Lukyanov 

Pacific National University (PNU), Khabarovsk, Russian Federation

010770@pnu.edu.ru

Abstract. The relevance of the work is due to the study of the issue of disposal and possible use of ash and slag waste in small towns, in particular in the Far East, where the predominant types of heating are low-power boilers or individual heating systems. The simplest and clearest methods for assessing the impact of generated waste on the environment are bioindicative methods, in particular, the assessment of phytotoxicity. The analysis of the phytotoxic effect of ash and slag wastes of various origins and different periods of storage, as well as coal samples in the conditions of urban settlements, was carried out in the town Shakhtersk, Sakhalin region, in relation to herbaceous plants of various systematic groups in the framework of a number of laboratory experiments. The phytotoxic effect of the considered samples was determined by comparing the parameters of the test function of the control and experimental seeds. The dependence of the magnitude of the phytotoxic effect on the shelf life and the type of origin of ash and slag waste is shown. The data obtained are the basis for carrying out additional experiments and studies, as well as determining the chemical composition of the samples under consideration.

Keywords: ash and slag waste, ASW, stove heating, boiler heating, phytotoxicity, phytotoxic effect

Authors' contributions: *E.V. Dakhova* – sampling, conducting experiments, processing of the received data and their interpretation, writing the text; *L.P. Mayorova* – research concept, methodology, critical analysis of the text; *A.I. Lukyanov* – processing of the received data and their interpretation, writing the text. All the authors participated in the discussion of the results and the preparation of the conclusion.

Article history: received 12.04.2022; accepted 13.05.2022.

For citation: Dakhova EV, Mayorova LP, Lukyanov AI. Assessment of phytotoxicity of ash and slag waste from low-capacity boiler houses and individual heating systems on the example of the town Shakhtersk, Sakhalin region. *RUDN Journal of Ecology and Life Safety*. 2022;30(3):280–291. (In Russ.) <http://doi.org/10.22363/2313-2310-2022-30-3-280-291>

Введение

В процессе использования угля в качестве топлива образуются золошлаковые отходы, которые могут отличаться по фракционному и химическому составу, объему и прочим показателям в зависимости от технологии сжигания и состава угля.

Рядом авторов описываются проблема воздействия отходов ТЭЦ на окружающую среду, а также возможность и особенности складирования, утилизации и переработки золошлаков (Черенцова А.А. 2013, Качаев Г.В. 2014, Таскин А.В. 2017 и др.) [1; 2]. Позитивными моментами данных исследований можно считать высокую степень изученности вопроса в условиях средних, больших, крупных и крупнейших городов (т.е. с численностью населения от 50 тысяч до 1 миллиона жителей)¹. Тем не менее, подавляющее большинство городов России относится к категории малых (793 из 1117 на 2019 г., а также входящие в эту категорию поселки городского типа)², в условиях которых проблемы качества окружающей среды часто носят менее обсуждаемый характер. Кроме того, ряд технологических решений, применяемых в крупных населенных пунктах, нерентабелен либо невозможен по ряду причин для малых городов и более мелких муниципальных образований, таких как сельские поселения. Вопрос специфики влияния золошлаковых отходов от котельных малых мощностей и от индивидуальных отопительных систем на компоненты окружающей среды актуален для территории большей части Дальнего Востока.

Воздействию отходов от сжигания угля подвергаются все компоненты природной среды. Наиболее нагружаемой является почва, обладающая депонирующими свойствами. С использованием методов биотестирования представляется возможным в достаточно сжатые сроки определить степень воздействия потенциально негативного фактора на тест-объект и, как следствие, на природные среды. Полученные экспериментальным путем данные позволяют сделать вывод о токсичности анализируемой пробы. Приоритетность данного метода в приведенном исследовании обусловлена такими причинами, как техническая доступность, малозатратность, возможность наблюдения за действием потенциального загрязнителя на разные виды растений.

¹ СП 42.13330.2016 Градостроительство. Планировка и застройка городских и сельских поселений // АО «Кодекс» – компьютерная справочная правовая система. URL: <https://docs.cntd.ru/document/456054209> (дата обращения: 25.04.2022).

² Малые города в России // Сайт Города-Россия.рф 2011-2022. URL: <https://inlnk.ru/3ZxGeK> (дата обращения: 25.04.2022).

Материалы и методы исследования

В работе определялся фитотоксический эффект образцов золошлаковых отходов различного времени лежалости от котельной малой мощности и от отопительных систем индивидуального жилого сектора в условиях пгт. Шахтерск Сахалинской области. Отбор проб золошлаковых отходов (ЗШО) произведен в местах нерегламентированного хранения, что обусловлено отсутствием специализированных площадок для этой цели. Пробы отбирались согласно общим методикам для последующего фитотестирования методом проростков с целью определения наличия токсического эффекта (ГОСТ 32627-2014, ГОСТ 17.4.4.02-2017, МР 2.1.7.2297-07, ГОСТ 12071-2014)³.

Использованы золошлаковые отходы: ЗШО печного отопления (частный сектор), котельного отопления лежалостью 1–3 и 3–6 месяцев и 3 года, образцы угля. Контрольной средой выступают почва без внесения загрязнителя и дистиллированная вода.

В эксперименте использованы неповрежденные откалиброванные семена всхожестью не менее 95%. Путем сопоставления показателей тест-функции контрольных и опытных семян определялась степень фитотоксического эффекта.

Экспериментальные исследования проводились в два этапа: учитывались всхожесть и энергия прорастания семян, затем параметры фитотоксичности, исходя из ростовых показателей анализируемых растений. Энергия прорастания рассчитывалась как количество нормально проросших семян в течение установленного срока (на третьи сутки), выраженное в процентах от количества семян, взятых для определения всхожести.

Определение фитотоксического эффекта проводилось путем сопоставления показателей тест-функции (LCP) контрольных и опытных семян. Величина показателя вычислялась по формуле как среднее арифметическое

³ ГОСТ 32627-2014 Методы испытаний химической продукции, представляющей опасность для окружающей среды. Наземные растения. Испытание на фитотоксичность // АО «Кодекс» – компьютерная справочная правовая система. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200115810> (дата обращения: 25.04.2022).

ГОСТ 17.4.4.02-2017 Охрана природы. Почвы. Методы отбора и подготовки проб для химического, бактериологического, гельминтологического анализа // АО «Кодекс» – компьютерная справочная правовая система. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200158951> (дата обращения: 25.04.2022).

Методические рекомендации МР 2.1.7.2297-07 Обоснование класса опасности отходов производства и потребления по фитотоксичности // АО «Кодекс» – компьютерная справочная правовая система. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200061157> (дата обращения: 25.04.2022).

ГОСТ 12071-2014 Грунты. Отбор, упаковка, транспортирование и хранение образцов // АО «Кодекс» – компьютерная справочная правовая система. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200116021> (дата обращения: 25.04.2022).

из совокупности данных о длине корней проростков, полученных в трех повторностях эксперимента:

$$E_{\text{ср}} = \frac{\sum L_i}{n}, \quad (1)$$

где L_i – длина максимального корня каждого семени, мм; n – общее количество семян, взятых в опыт.

Величина эффекта торможения (фитотоксикант) рассчитывалась по формуле⁴

$$E_{\text{т}} = \frac{L_{\text{к}} - L_{\text{оп}}}{L_{\text{к}}} \cdot 100, \quad (2)$$

где $E_{\text{т}}$ – эффект торможения, %; $L_{\text{оп}}$ – средняя длина корней в опыте, мм; $L_{\text{к}}$ – средняя длина корней в контроле, мм [3].

Опыты проводились в трехкратной повторности (по 25 семян в каждой пробе). Проращивание семян осуществлялось при температуре 18–20 °С в течение 7 дней в чашках Петри. Посев производился на образцы золошлаковых отходов, а также на водную вытяжку образцов, показавших повышенные показатели фитотоксичности.

Растения тест-объекты: клевер луговой (лат. *Trifolium pratense*); овес посевной (*Avena sativa*); редис (раннеспелый, сорт Жара) (*Raphanus sativus* var. *Radicula*). Взятые растения различных систематических групп, что дает более широкий диапазон оценки потенциального отклика на анализируемый образец. Ряд видов являются классическими образцами для данного типа исследований и иных исследований в рамках биомониторинга. Клевер, как представитель сем. Бобовые, вступает в симбиоз с бактериями рода *Rhizodium*, что можно расценивать как дополнительный компонент для оценки токсичности отходов [4].

Статистическая обработка выполнена с использованием надстройки Excel «Пакет анализа» и метода Voxplots (Ящик с усами, диаграмма размаха).

Результаты и обсуждение

Пгт. Шахтерск расположен в западной части о. Сахалин вдоль побережья Татарского пролива (рис. 1). Отопление жилых домов производится от котельной (часть населенного пункта с многоквартирными домами) и индивидуальных отопительных систем в районе ИЖС с использованием угольного топлива.

Рельеф местности низкогорный. Населенный пункт имеет относительную географическую разобщенность и протяженность. Многоквартирные

⁴ Методические рекомендации МР 2.1.7.2297-07 Обоснование класса опасности отходов производства и потребления по фитотоксичности // АО «Кодекс» – компьютерная справочная правовая система. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200061157> (дата обращения: 25.04.2022).

дома расположены в юго-западном направлении на естественной возвышенности, компактно. Частный сектор (ИЖС) находится преимущественно в распадке, имеет большую протяженность по отношению к многоквартирной части. Следует отметить, что в населенном пункте отсутствует регламентированное место для хранения золошлаковых отходов. Проблема актуальна как для многоквартирных домов, так и для частных строений.

С целью дальнейшего развития исследования в рамках разработки предложений по использованию, хранению, утилизации золошлаковых отходов различного происхождения в условиях малых городов, на примере пгт. Шахтерск Сахалинской области, проведен ряд опытов по изучению потенциальной фитотоксичности рассмотренных ниже образцов.

Скученность точек отбора проб в локации частного сектора обусловлена наличием золошлаковых отходов (ЗШО) длительной лежалости со стихийными площадками хранения, а также необходимостью непосредственного отбора проб ЗШО индивидуального печного отопления (рис. 1).

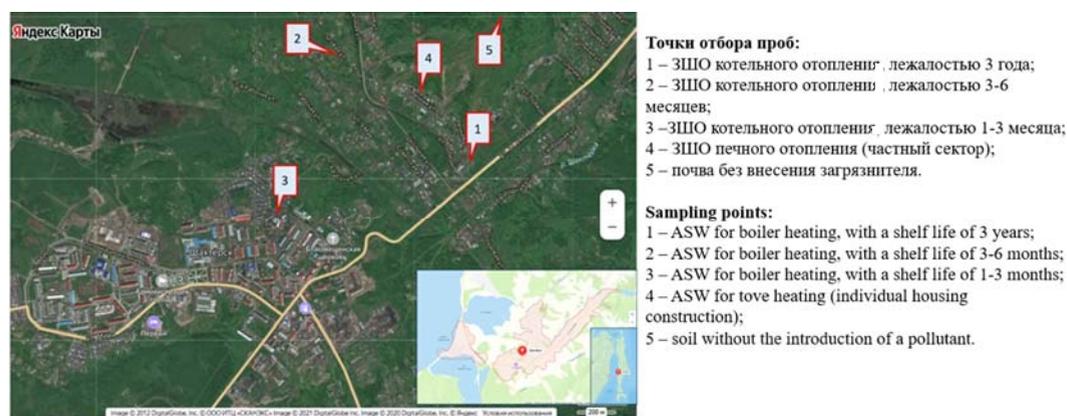


Рис. 1. Расположение точек отбора проб золошлаковых отходов, пгт. Шахтерск Сахалинской области /

Figure 1. Location of ash and slag waste sampling points, town Shakhtersk, Sakhalin region

Образцы ЗШО и контрольных сред на местности представлены на рис. 2. На поверхности ЗШО котельного отопления лежалостью 3 года можно наблюдать процесс естественного заселения растительностью. Визуальный анализ фракционного состава поверхностного слоя свидетельствует об отсутствии/минимальном содержании мелких и пылеватых частиц, что может давать определенную картину при рассмотрении растворения веществ и их дальнейшей миграции как в естественных условиях, так и в ходе лабораторного эксперимента.

Был поставлен ряд опытов на пробах золошлаковых отходов различной лежалости. Средами сравнения выступали образцы незагрязненной почвы, отобранной в условиях пгт. Шахтерск, дистиллированная вода и уголь, использующийся в качестве топлива. Размеры проростков, рассмотренных в опыте растений на различных образцах ЗШО, представлены на рис. 3–5.

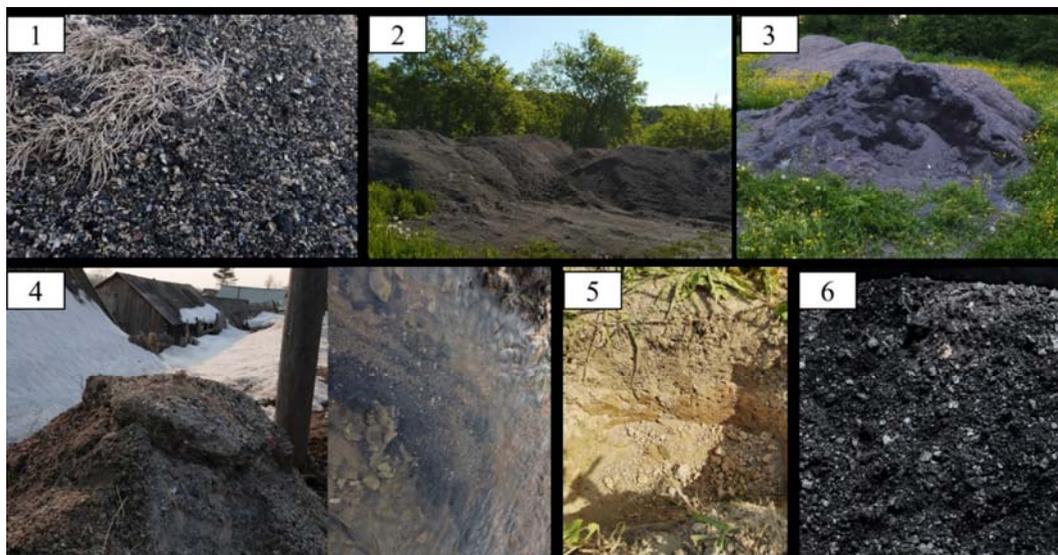
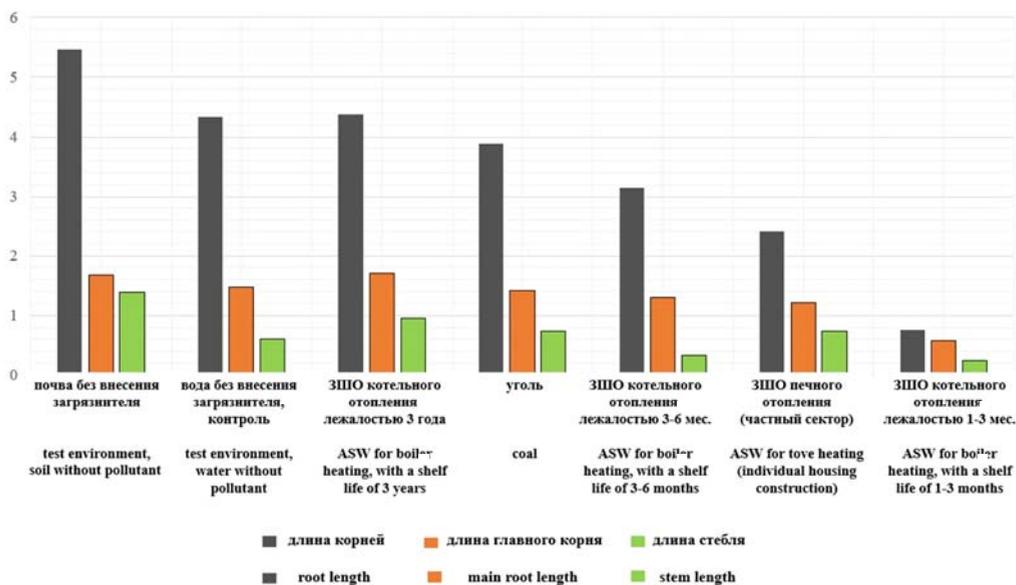


Рис. 2. Образцы золошлаковых отходов и контрольных сред:
 1 – ЗШО котельного отопления лежалостью 3 года; 2 – ЗШО котельного отопления лежалостью 3–6 месяцев; 3 – ЗШО котельного отопления лежалостью 1–3 месяца; 4 – ЗШО печного отопления (частный сектор); 5 – почва без внесения загрязнителя; 6 – уголь /
Figure 2. Samples of ash and slag waste and test medium:
 1 – ASW for boiler heating, with a shelf life of 3 years; 2 – ASW for boiler heating, with a shelf life of 3–6 months; 3 – ASW of boiler heating with a shelf life of 1–3 months; 4 – ASW for stove heating (individual housing construction); 5 – soil without pollutant application; 6 – coal



**Рис. 3. Динамика ростовых показателей семян овса посевного (*Avena sativa*) /
 Figure 3. Dynamics of growth parameters of oat (*Avena sativa*)**

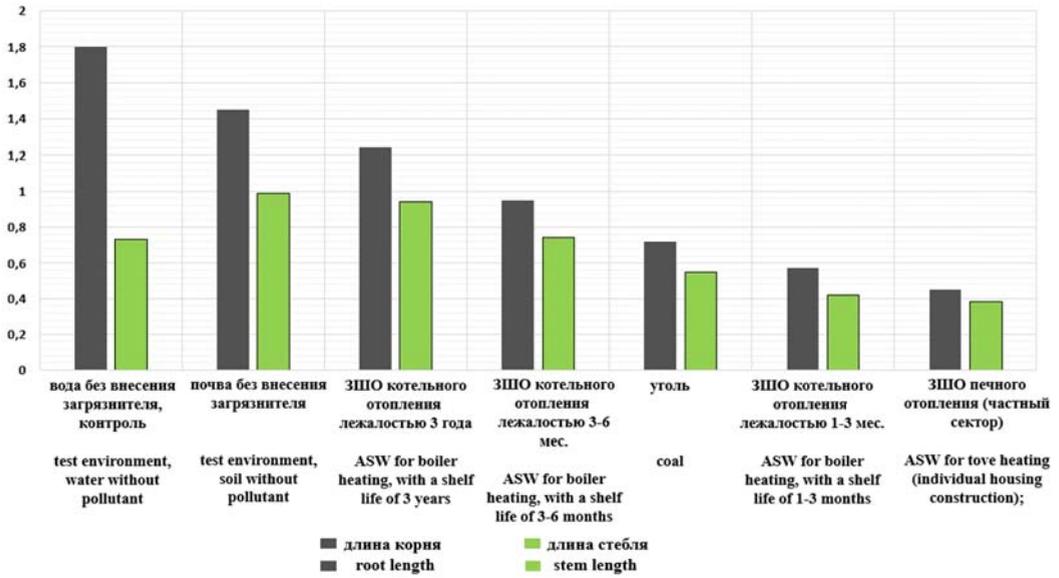


Рис. 4. Динамика ростовых показателей семян клевера лугового (*Trifolium pratense*) / Figure 4. Dynamics of growth parameters of seeds of red clover (*Trifolium pratense*)

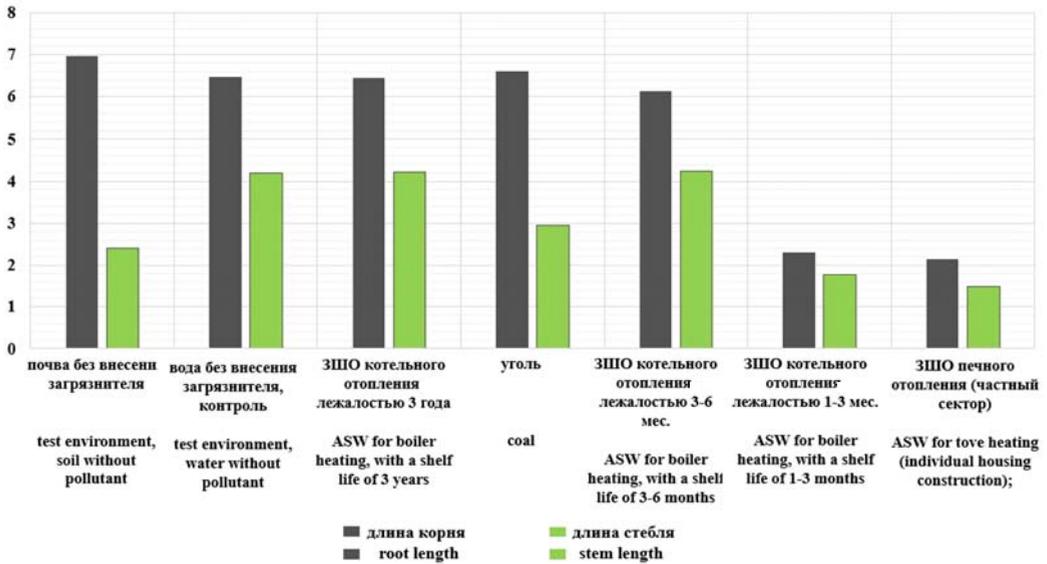


Рис. 5. Динамика ростовых показателей семян редиса (*Raphanus sativus var. radicola*) / Figure 5. Dynamics of growth parameters of radish seeds (*Raphanus sativus var. radicola*)

По результатам анализа выявлено потенциальное увеличение фитотоксичности при снижении времени лежалости шлаков (табл. 1).

Кроме того, подобную динамику имеет показатель энергии прорастания семян. Снижен общий процент всходов, отмечено замедление прорастания на всех тест-объектах. Зависимость всхожести и энергии прорастания семян от степени лежалости и вида субстрата представлены на показателях клевера, как на тест-объекте, показавшем наибольший отклик (рис. 6).

Таблица 1

Фитотоксичность золошлаковых отходов различной лежалости

Вид отхода	Вид растений		
	Овес (<i>Avena sativa</i>)	Клевер (<i>Trifolium pratense</i>)	Редис (<i>Raphanus sativus var. radicula</i>)
ЗШО котельного отопления лежалостью 3 года	-2,39	14,48	7,37
ЗШО котельного отопления лежалостью 3–6 месяцев	22,16	34,48	12,18
ЗШО котельного отопления лежалостью 1–3 месяца	27,55	60,69	67,05
ЗШО печного отопления (частный сектор)	65,87	68,97	69,08

Примечание. Оценка фитотоксичности < 20 % – норма; 20–40 – слабая фитотоксичность; 40–60 – средняя фитотоксичность; > 60 % – сильная фитотоксичность.

Цветом обозначены: слабая фитотоксичность, сильная фитотоксичность.

Table 1

Phytotoxicity of ash and slag wastes of different storage life

Waste type	Plant species		
	Oats (<i>Avena sativa</i>)	Clover (<i>Trifolium pratense</i>)	Radish (<i>Raphanus sativus var. radicula</i>)
ASW for boiler heating, with a shelf life of 3 years	-2.39	14.48	7.37
ASW for boiler heating, with a shelf life of 3–6 months	22.16	34.48	12.18
ASW for boiler heating, with a shelf life of 1–3 months	27.55	60.69	67.05
ASW for tove heating (individual housing construction)	65.87	68.97	69.08

Note. Phytotoxicity estimate <20% is the norm; 20–40 – weak phytotoxicity; 40–60 – medium phytotoxicity; > 60% – strong phytotoxicity.

Color indicates: weak phytotoxicity, strong phytotoxicity.

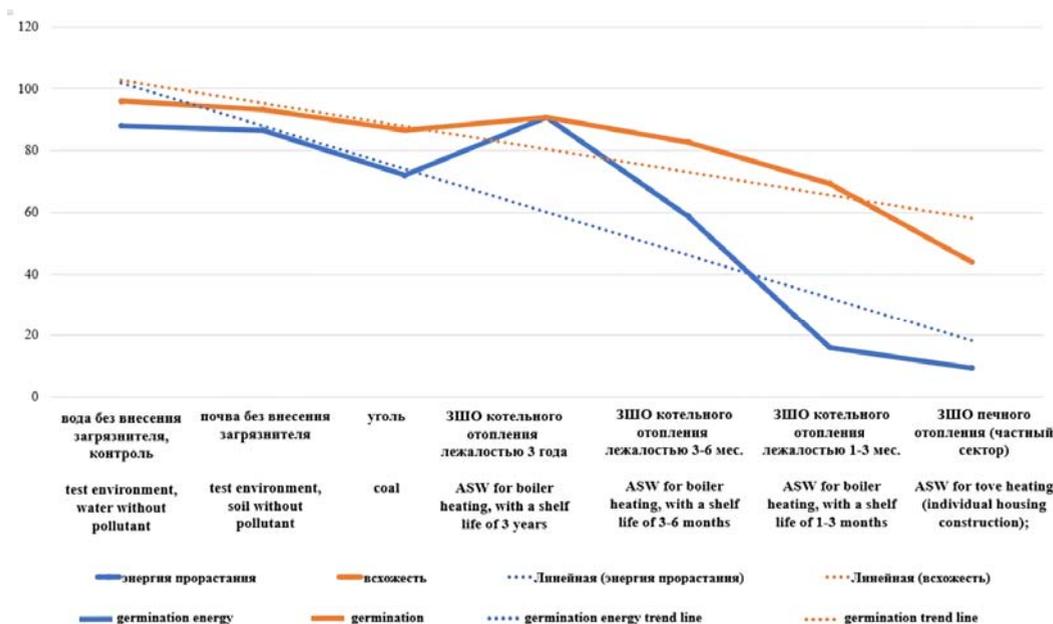


Рис. 6. Динамика энергии прорастания и всхожести семян клевера (*Trifolium pratense*) на различных видах ЗШО / Figure 6. Dynamics of germination energy and germination of clover (*Trifolium pratense*) seeds on various types of ASW

У проростков овса отмечается отсутствие или снижение количества корневых волосков, общее угнетение, потемнение главного корня. Корни клевера имеют перемычки, утолщения. Наблюдается угнетение корневых волосков, потемнение.

Представленные нарушения, вероятно, связаны с наличием в исследуемых образцах металлов и их соединений (так, подобные изменения наблюдаются при интенсивном воздействии железа, меди, марганца), а также определенном значении pH [5]. Результаты анализа фитотоксичности указывают на наличие эффекта торможения. Сильная фитотоксичность определена в образцах ЗШО печного отопления и ЗШО котельного отопления лежалостью не более 3 месяцев на всех тест-объектах.

Таким образом, можно предположить, что срок лежалости золошлаковых отходов влияет на его потенциальные токсические свойства. Зависимость всхожести и энергии прорастания от срока лежалости золошлаковых отходов подтверждена наличием высокой отрицательной коррелятивной связи (рис. 7).

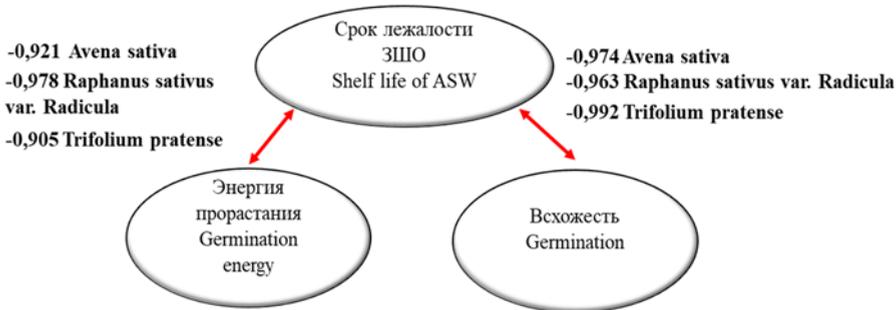


Рис. 7. Корреляционная связь между показателями (значения коэффициента корреляции Пирсона) / Figure 7. Correlation between indicators (values of the Pearson correlation coefficient)

Для дальнейшей оценки были отобраны два образца с наиболее высоким фитотоксическим эффектом: золошлаковые отходы котельного отопления лежалостью 1–3 месяца и отходы печного топления от индивидуальных отопительных систем частного сектора минимальной лежалости. Посев семян проводился на вышеобозначенные образцы в различной смесовой части с почвой естественного происхождения. Результаты опыта представлены в табл. 2.

Таблица 2

Фитотоксичность золошлаковых отходов в смеси с почвой

Доля ЗШО, %	Вид ЗШО					
	ЗШО котельного отопления (1–3 мес.)			ЗШО печного отопления		
	Овес	Клевер	Редис	Овес	Клевер	Редис
100	51,03	69,33	65,22	63,45	75,46	67,54
50	18,62	50,92	14,21	28,28	69,33	14,99
25	-5,52	14,11	-6,18	-5,51	66,87	2,63
12,5	-5,52	0,61	-8,19	-8,96	4,91	2,01
6,25	-11,03	-0,61	-3,86	-11,72	3,68	3,55

Примечание. Оценка фитотоксичности <20 % – норма; 20–40 – слабая фитотоксичность; 40–60 – средняя фитотоксичность; > 60 % – сильная фитотоксичность. Цветом обозначены: слабая фитотоксичность, средняя фитотоксичность, сильная фитотоксичность.

Table 2

Phytotoxicity of ash and slag waste mixed with soil

Share of ASW, %	Type of ASW					
	ASW for boiler heating, with a shelf life of 1-3 months			ASW for tove heating (individual housing construction)		
	Oats	Clover	Radish	Oats	Clover	Radish
100	51,03	69,33	65,22	63,45	75,46	67,54
50	18,62	50,92	14,21	28,28	69,33	14,99
25	-5,52	14,11	-6,18	-5,51	66,87	2,63
12,5	-5,52	0,61	-8,19	-8,96	4,91	2,01
6,25	-11,03	-0,61	-3,86	-11,72	3,68	3,55

Note. Phytotoxicity estimate < 20% is the norm; 20–40 – weak phytotoxicity; 40–60 – medium phytotoxicity; > 60 % – strong phytotoxicity. Color indicates: weak phytotoxicity, medium phytotoxicity, strong phytotoxicity.

Максимальный фитотоксический эффект отмечен у ЗШО без смешения с почвой. Наиболее чувствительным тест-объектом является клевер.

Заключение

Таким образом, определено наличие максимального фитотоксического эффекта в образцах ЗШО печного отопления и свежих ЗШО (лежалость 1–3 месяца) при использовании различных тест-объектов. Фитотоксический эффект снижается и входит в нормативные показатели при содержании в смеси с почвой менее 12,5 %. Полученные данные являются основой для проведения дополнительных опытов и изучения химического состава рассматриваемых образцов.

Список литературы

[1] Черенцова А.А. Оценка воздействия золоотвалов на окружающую среду: на примере Хабаровской ТЭЦ-3: дис. ... канд. биол. наук: 03.02.08. Хабаровск, 2013. 296 с.

[2] Качаев Г.В. Восстановление степных экосистем в зоне добычи бурого угля (на основе золошлаковых отходов ОАО «Березовская ГРЭС-1»): дис. ... канд. биол. наук: 03.02.08. Красноярск, 2014. 141 с.

[3] Абасева А.Ю., Супрунова А.А., Артемьева И.В., Майорова Л.П. Оценка фитотоксичности фильтрата комплекса по обезвреживанию отходов близ С. Ильинка Хабаровского края // Философия современного природопользования в бассейне реки Амур: материалы VIII Международной научно-практической конференции, Хабаровск, 30 апреля 2019 года. Хабаровск: Тихоокеанский государственный университет, 2019. С. 149–153.

[4] Майорова Л.П., Лукьянов А.И., Дахова Е.В. Влияние золошлаковых отходов и угля на морфологические признаки травянистых растений // Наукосфера. 2021. № 8–2. С. 1–5.

[5] Дахова Е.В., Майорова Л.П., Лукьянов А.И. Биотестирование золошлаковых отходов пгт. Шахтерск Сахалинской области // Ученые заметки ТОГУ. 2022. Т. 13. № 1. С. 102–105.

References

[1] Cherentsova AA. Assessment of the impact of ash dumps on the environment: on the example of Khabarovsk CHP-3 (dissertation of Candidate of Biological Sciences). Khabarovsk; 2013. (In Russ.)

- [2] Kachaev GV. Restoration of steppe ecosystems in the zone of brown coal mining (based on ash and slag waste from JSC “Berezovskaya GRES-1”) (dissertation of Candidate of Biological Sciences). Krasnoyarsk; 2014. (In Russ.)
- [3] Abaseva AYu, Suprunova AA, Artemyeva IV, Mayorova LP. Estimation of phytotoxicity of the leachate of the waste disposal complex near village Ilyinka, Khabarovsk Territory. *Philosophy of modern environmental management in the Amur River basin: Proceedings of the VIII International Scientific and Practical Conference, Khabarovsk, April 30, 2019*. R Khabarovsk: Pacific National University; 2019. p. 149–153. (In Russ.)
- [4] Mayorova LP, Lukyanov AI, Dakhova EV. Effect of ash and slag waste and coal on the morphological characteristics of herbaceous plants, *Naukosphere Publ.* 2021;(8)2:1–5. (In Russ.)
- [5] Dakhova EV, Mayorova LP, Lukyanov AI. Biotesting of ash and slag wastes of the town. Shakhtyorsk, Sakhalin Oblast. *Scientific notes of Togu.* 2022;13(1):102–105. (In Russ.)

Сведения об авторах:

Дахова Екатерина Валерьевна, преподаватель кафедры экологии, ресурсопользования и безопасности жизнедеятельности, Тихоокеанский государственный университет, Российская Федерация, 680035, Хабаровск, ул. Тихоокеанская, д. 136. ORCID: 0000-0003-0179-8563, eLIBRARY SPIN-код: 6871-2827. E-mail: 010770@pnu.edu.ru

Майорова Людмила Петровна, доктор химических наук, доцент, и.о. завкафедрой кафедры экологии, ресурсопользования и безопасности жизнедеятельности, Тихоокеанский государственный университет, Российская Федерация, 680035, Хабаровск, ул. Тихоокеанская, д. 136. ORCID: 0000-0002-6326-982X, eLIBRARY SPIN-код: 5904-3031. E-mail: 000318@pnu.edu.ru

Лукьянов Алексей Игоревич, преподаватель кафедры экологии, ресурсопользования и безопасности жизнедеятельности, Тихоокеанский государственный университет, Российская Федерация, 680035, Хабаровск, ул. Тихоокеанская, д. 136. ORCID: 0000-0002-6936-6807, eLIBRARY SPIN-код: 6952-7589. E-mail: 008362@pnu.edu.ru

Bio notes:

Ekaterina V. Dahova, Lecturer of the Department of Ecology, Resource Management and Life Safety, Pacific National University, 136 Pacific St, Khabarovsk, 680035, Russian Federation. ORCID: 0000-0003-0179-8563, eLIBRARY SPIN-code: 6871-2827. E-mail: 010770@pnu.edu.ru

Lyudmila P. Mayorova, Doctor of Chemical Sciences, Associate Professor, Acting Head of the Department of Ecology, Resource Management and Life Safety, Pacific National University, 136 Pacific St, Khabarovsk, 680035, Russian Federation. ORCID: 0000-0002-6326-982X, eLIBRARY SPIN-code: 5904-3031. E-mail: 000318@pnu.edu.ru

Alexey I. Lukyanov, Lecturer of the Department of Ecology, Resource Management and Life Safety, Pacific National University, 136 Pacific St, Khabarovsk, 680035, Russian Federation. ORCID: 0000-0002-6936-6807, eLIBRARY SPIN-code: 6952-7589. E-mail: 008362@pnu.edu.ru