

# ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЕ

## ВЛИЯНИЕ ТЕХНОГЕНЕЗА НА ЭКОЛОГИЧЕСКОЕ СОСТОЯНИЕ СЕРЫХ ЛЕСНЫХ ПОЧВ

**Л.П. Степанова, А.И. Яшин**

Кафедра земледелия  
Факультет агробизнеса и экологии  
Орловский государственный аграрный университет  
*ул. Генерала Родина, 69, Орел, Россия, 302019*

**Е.В. Яковлева**

Кафедра БЖД на производстве  
Факультет агротехники и энергообеспечения  
Орловский государственный аграрный университет  
*ул. Генерала Родина, 69, Орел, Россия, 302019*

Установлено содержание тяжелых металлов в почве, растениях, воде, описано видовое разнообразие живых организмов, определены чувствительные и относительно устойчивые к загрязнению виды растений. Полученная база данных о ходе природного воспроизводства плодородия серых лесных почв на техногенно нарушенных территориях может быть использована для обоснования экологической реабилитации антропогенно нарушенных ландшафтов.

**Ключевые слова:** техногенные выбросы, почвенный покров, миграция металлов, техногенез, серые лесные почвы.

Нарушения почвенного покрова, производимые в ходе горнопромышленных, строительных работ, отбрасывают почвенную систему к начальному моменту ее становления. Взаимодействие факторов почвообразования инициирует целый спектр химических, физических и структурных изменений почвообразующей породы, хозяйственно ценным и эколого-биосферным следствием которых является формирование почвенного профиля. При этом субстантивная составляющая почвообразовательного процесса определяется сочетанием таких факторов, как материнская порода и биота [1; 5].

Исследования, проведенные в районе шлакового отвала «Думчино» Мценского района Орловской области, показали, что особенности гумусонакопления и физико-химические свойства серых лесных почв этого района во многом определяются степенью воздействия солевых алюминиевых отсеков, накапливаемых в шлаковом отвале. В непосредственной близости к отвалу почвенный покров на глубину гумусового слоя был полностью снят при обустройстве площадки для складирования отсеков. Однако при небольшой величине емкости поглощения

и степени насыщенности основаниями высокая обеспеченность подвижным калием создает благоприятные условия для роста и развития растительного покрова и накопления гумуса (76,3 т/га) в 30-сантиметровом слое почвы. При большем удалении от источника загрязнения увеличивается количество подвижных форм элементов питания и биологическая продуктивность растений, что подтверждается созданием запасов гумуса в гумусовом слое почвы 79,4 т/га на расстоянии 150 м и 95,5 т/га на расстоянии 450 м от источника загрязнения. Это позволяет предположить влияние органического вещества и растений на аккумуляцию металлов в профиле почвы, а также влияние солевых отсеков на свойства почв.

Исследования показали, что шлаковый отвал солевых алюминиевых отсеков является основным источником поступления тяжелых металлов в почвы. Так, валовое содержание свинца изменялось от 18,0 до 35,0 мг/кг в поверхностном горизонте почвы (2—12 см), при этом чем ближе объект к источнику загрязнения, тем выше количество свинца. С глубиной содержание свинца в почве снижалось. Количество валовой меди было высоким в слое почвы 0—12 см и достигало 44,0—165,0 мг/кг содержание цинка изменялось в зависимости от удаленности от отвала от 72,0—74,0 мг/кг, в почвах на территории в непосредственной близости к отвалу до 57,0—172,0 мг/кг. На расстоянии 150—450 м от источника загрязнения, с глубиной количество тяжелых металлов снижалось. Наиболее четкая взаимосвязь валового содержания тяжелых металлов и удаленности источника загрязнения наблюдалась в оценке количества никеля в почвах, чем больше удаленность исследуемого объекта от шлакового отвала, тем выше содержание этого металла.

Таблица 1

**Изменение физико-химических свойств серых лесных почв  
на территории шлакового отвала (пос. Думчино, Мценский р-он)**

№ раз-реза	Глубина взятия образца, см	Нг мг-экв / 100 г почвы	Сумма оснований мг-экв / 100 г почвы	ЕКО мг-экв / 100 г почвы	Степень насыщенности основаниями, %	мг / 100 г почвы		Гумус (%)	рН (кCl)
						P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O		
Удаленность 50 м									
1	0—10	3,6	3,0	6,6	45,5	4,5	42,5	2,8	4,5
1	10—20	3,2	4,0	7,2	55,5	5,3	21,3	2,4	4,3
1	20—30	3,3	4,0	7,3	54,8	7,3	12,9	2,01	4,3
Удаленность 150 м									
2	0—2	1,4	15,0	16,4	91,5	14,8	50,0	4,8	6,0
2	2—12	2,28	18,0	20,28	88,8	25,6	50,0	3,6	5,5
2	12—22	1,31	18,4	19,71	93,3	14,0	23,2	1,8	5,9
2	22—32	4,38	22,0	26,38	83,4	1,9	15,0	0,6	4,0
Удаленность 450 м									
4	0—2	1,8	8,0	9,8	81,6	24,7	50,0	4,4	5,7
4	2—12	1,2	12,0	13,2	90,9	13,8	40,7	1,6	5,1
4	10—20	2,1	12,0	14,1	85,1	24,4	50,0	2,8	4,3
4	20—30	2,3	10,2	12,5	81,6	3,3	40,0	0,4	4,3

На рисунках 1—4 показан характер распределения валовых форм металлов по профилю почвы подтверждает развитие элювиально-иллювиального типа почвообразования и миграцию их в таких формах как взвешенная форма с частицами более 0,001 мм и в истинно растворенной форме и коллоидной форме. Так, в непосредственной близости от источника загрязнения в условиях сильноокислой среды по всему профилю наблюдается энергичная миграция таких металлов, как цинк,

медь, свинец, никель. Однако наибольшее содержание этих металлов отмечается в верхнем слое почвы 0—10 см разреза 1 (удаленность 50 м), для которого характерно накопление взвешенных частиц алюминиевых отсеков в этом слое почвы с фракцией крупной пыли.

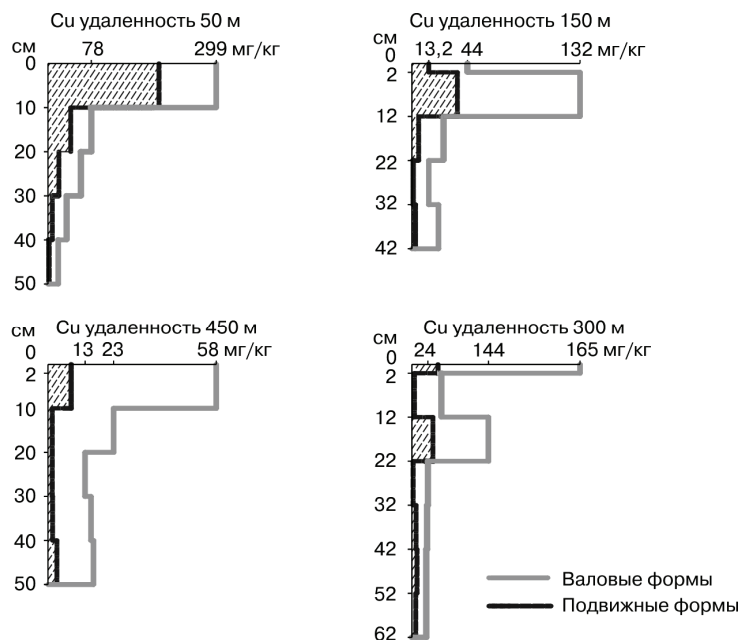


Рис. 1. Распределение меди по профилю серых лесных почв на территории шлакового отвала п. Думчино

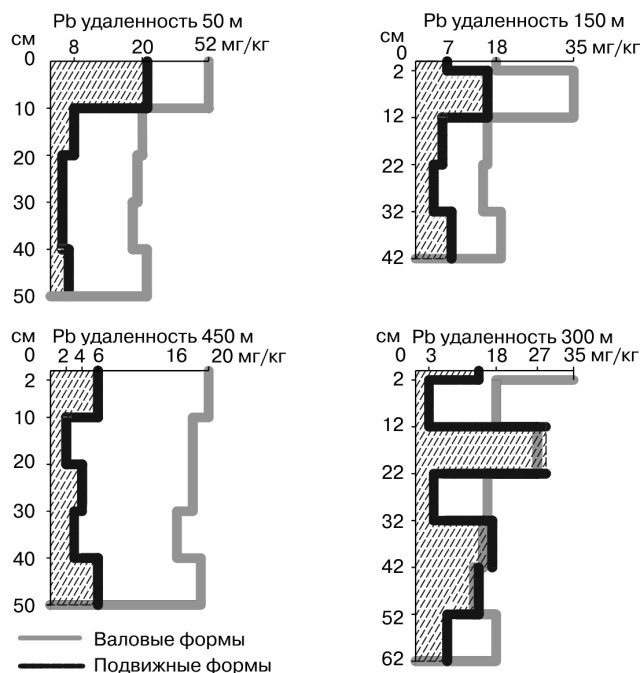
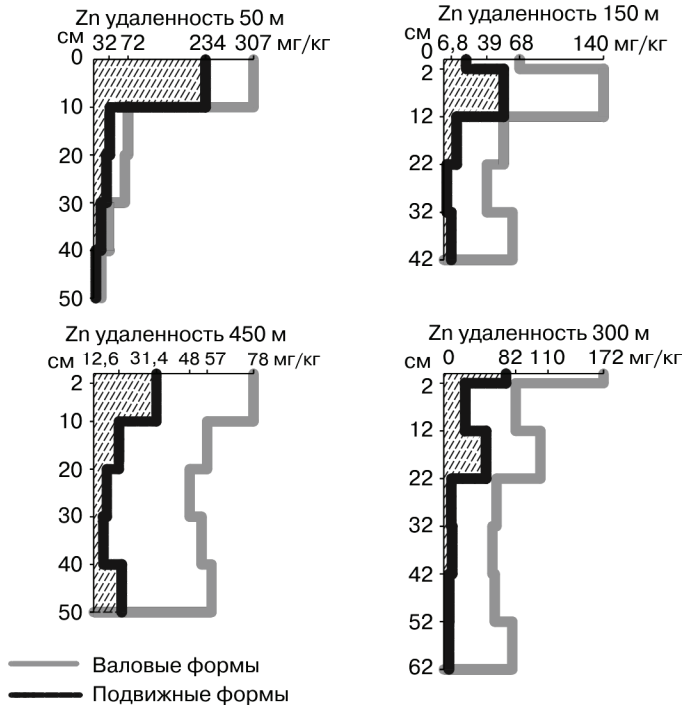
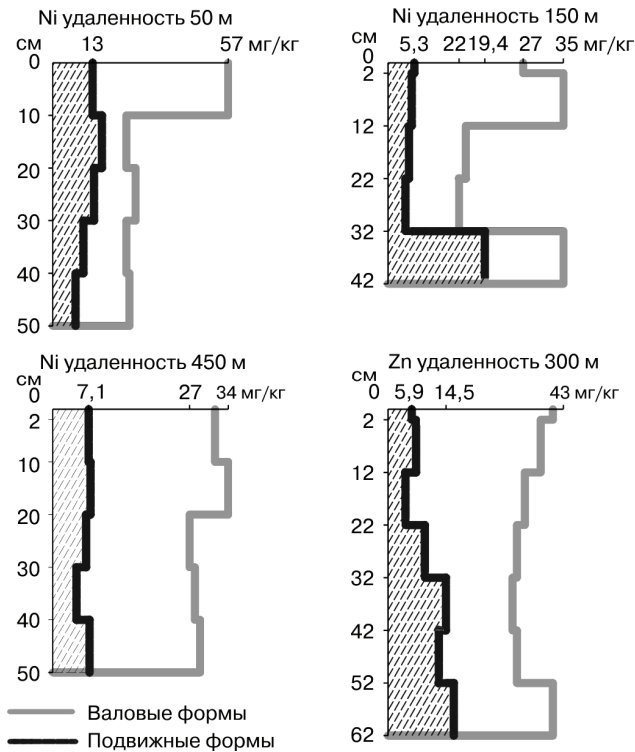


Рис. 2. Распределение свинца по профилю серых лесных почв на территории шлакового отвала п. Думчино



**Рис. 3.** Распределение цинка по профилю серых лесных почв на территории шлакового отвала п. Думчино



**Рис. 4.** Распределение никеля по профилю серых лесных почв на территории шлакового отвала п. Думчино

Распределение исследуемых металлов в нижних горизонтах почвы подтверждается характером распределения почвенных частиц илистой фракции и гумусированностью почвы.

Оценить экологическую значимость тяжелых металлов можно по количеству подвижных форм тяжелых металлов в почвах [3]. Как видно из рис. 1—4, количество подвижных форм меди, цинка, никеля, кобальта и свинца резко уменьшается в сравнении с валовым содержанием этих металлов в почвах. Так, в непосредственной близости к источнику загрязнения количество подвижных форм меди, цинка, свинца составляет 55,7—76,2% от валового содержания этих металлов. При большей удаленности от источника загрязнения не только уменьшается количество валовых форм указанных металлов, но и резко снижается их подвижность. Из этого следует, что почвенные условия в непосредственной близости способствуют переходу тяжелых металлов в подвижные формы, что представляет экологическую опасность для животных и человека.

Химический анализ воды, накапливающейся в траншее вокруг шлакового отвала, показал, что содержание марганца, натрия, аммиака, хлоридов, нитратов, нитритов, а также микробиологические показатели превышают предельно допустимые концентрации для таких соединений в поверхностных водоемах.

Биологическая форма миграции веществ обусловлена избирательной поглощательной способностью живых организмов, процессами трансформации извлекаемых (поглощаемых) элементов в результате сложных биохимических процессов. Она оказывает огромное влияние на различные формы абиотической миграции. Более того, формы миграции в водных растворах во многом обусловлены воздействием живых организмов, продуктов их жизнедеятельности и трансформации органических остатков на минеральные компоненты почвы.

На основании проведенных нами исследований на территории Орловской области определено содержание тяжелых металлов в почве и растениях, описано видовое разнообразие и повреждаемость растений на клеточном и организменном уровнях, определены чувствительные и относительно устойчивые к загрязнению виды.

Изучение содержания тяжелых металлов в растениях, собранных на различных расстояниях и направлениях от складирования шлаковых отходов, необходимо было для выбора направления, где наблюдается максимальное загрязнение растений тяжелыми металлами, с целью дальнейшего более глубокого изучения аккумуляции их различными частями растений. Это объясняется тем, что в фиторемедиационных методах очистки загрязненных почв этими элементами используется надземная часть растений.

Для изучения содержания тяжелых металлов в растениях использовали целые растения. Растительность исследуемых территорий включает 300 видов сосудистых растений.

Флора территории, прилегающей к шлаковому отвалу «Думчино» Мценского района, характеризуется бедностью представителей семейств бобовых, здесь доминируют злаки, особенно пырей ползучий. Выявлены острые и хронические поражения древесных и травянистых растений токсикантами. В растительных сообществах у видов установлено ускорение или замедление фенотипа.

Образцы растений из пункта шлакового отвала существенно отличались по содержанию тяжелых металлов от образцов, взятых в пункте балки (табл. 2). Уровень содержания тяжелых металлов в растениях в непосредственной близости сильно превышал МДУ по всем тяжелым металлам, кроме меди. Максимальные концентрации в растениях были выявлены для следующих элементов: для цинка превышение составило у пырея ползучего в 1,3 раза; для свинца у пырея ползучего в 1,6 раза; для кадмия 1,5 раза у пастушьей сумки, у подорожника в 1,1 раз, у пырея ползучего в 1,1 раз; для никеля у пырея ползучего в 2,6 раза, у подорожника 1,6 раза, у тысячелистника и пастушьей сумки равное МДУ.

Таблица 2

## Содержание тяжелых металлов в растениях, мг/кг сухого вещества

Номер пункта	ТМ	МДУ	Пырей Ползучий ( <i>Elytrigia repens</i> )	Пастушья сумка <i>Capsella bursa-pastoris</i> )	Ромашка ободранная ( <i>Chamomilla recutita</i> )	Тысячелистник обыкновенный ( <i>Achillea millefolium</i> )	Подорожник большой ( <i>Plantago major</i> )	Одуванчик обыкновенный
Отвал	Zn	50,0	$\frac{81,4^*}{62,0}$	$\frac{35,7}{26,5}$	$\frac{53,1}{42,0}$	$\frac{49,9}{42,0}$	$\frac{62,2}{53,3}$	$\frac{85,3}{62,0}$
	Cu	30,0	$\frac{12,7}{5,6}$	$\frac{9,8}{4,5}$	$\frac{23,6}{6,2}$	$\frac{21,3}{7,0}$	$\frac{15,4}{10,4}$	$\frac{28,9}{25,3}$
	Pb	5,0	$\frac{13,1}{8,2}$	$\frac{4,8}{1,25}$	$\frac{4,3}{3,0}$	$\frac{3,7}{1,5}$	$\frac{5,9}{4,0}$	$\frac{4,76}{2,68}$
	Cd	0,30	$\frac{0,55}{0,32}$	$\frac{0,97}{0,45}$	$\frac{0,33}{0,25}$	$\frac{0,64}{0,23}$	$\frac{0,48}{0,34}$	$\frac{0,31}{0,19}$
	Ni	3,0	$\frac{9,8}{7,8}$	$\frac{4,3}{3,0}$	$\frac{5,7}{4,5}$	$\frac{4,2}{3,0}$	$\frac{7,3}{5,0}$	$\frac{7,87}{7,58}$

\* В числителе — данные по загрязненности в пункте 1 (50 м), в знаменателе — в пункте 4 (450 м).

Сравнительный анализ у растений показал, что на всей территории Думчинского отвала наблюдается превышение тяжелых металлов по всем видам исследуемых растений.

Содержание тяжелых металлов в растениях зависит от условий произрастания [4]. Чувствительным видом к тяжелым металлам является подорожник большой, а более устойчивым — тысячелистник обыкновенный. По накоплению в растениях металлы располагаются в ряд в порядке убывания концентрации Ni, Zn, Cd, Pb, Cu. По аккумуляции тяжелых металлов растения образуют ряд: пырей ползучий, подорожник большой, пастушья сумка, тысячелистник обыкновенный.

Выявлена относительная устойчивость на клеточном уровне к действию токсикантов у пырея ползучего, а повышенная устойчивость — у подорожника большого.

В качестве видов-индикаторов могут быть использованы пырей ползучий, тысячелистник обыкновенный (относительно устойчивые виды), подорожник большой (чувствительный вид).

Одним из показателей оценки степени загрязнения почв является видовой состав почвенных беспозвоночных [2]. Проведенные нами исследования показали, что источник загрязнения оказывает значительное влияние на видовой состав и численность микроартропод в слое 0—10 см серой лесной среднесуглинистой почвы (табл. 3).

Таблица 3

**Видовой состав и численность микроартропод в гумусовом горизонте серой лесной среднесуглинистой почвы в зависимости от удаленности от шлакового отвала (экз/м<sup>2</sup>)**

Группа, доминирующий вид	На расстоянии 150 м от шлакового отвала	На расстоянии 450 м от шлакового отвала
<b>I. КОЛЛЕМБОЛЫ</b>	1 440	4 644
1. <i>H. Manubralis</i>	542 ± 52	1 382 ± 140
2. <i>Jsoтова notabilis</i>	—	1 246 ± 122
3. <i>Pseudosinella alba</i>	—	1 197 ± 110
4. <i>Proisotova minuta</i>	—	—
5. <i>Stenaphorura quadrispinf</i>	—	—
6. <i>Protaphorura armata</i>	—	—
<b>II. КЛЕЩИ</b>	2 131	6 496
<i>Орибатиды</i>	1 744 ± 172	3 990 ± 378
1. <i>Tectocepheus velatus</i>	542 ± 52	—
2. <i>Cosmochthonius lanatus</i>	400 ± 41	—
3. <i>Puethoribates punctum</i>	542 ± 52	3 354 ± 331
4. <i>Oribatiidae sp.</i>	—	—
<i>Гамазовые</i>	99	248
1. <i>Arctoseus cetratus</i>	—	154 ± 16
2. <i>Veigae exigua</i>	—	—
3. <i>Rodaecarus agustis</i>	—	—
<i>Астигматические</i>	155	1 746
1. <i>Tyrophagus perniciosus</i>	61 ± 7	—
2. <i>Shucibea talha</i>	—	—
3. <i>Gyрporus sp.</i>	—	1 661 ± 159
<i>Тромбидиформные</i>	33	482
1. <i>Trombidipormes sp.</i>	—	300 ± 31
Всего микроартропод	3 758	13 863

В непосредственной близости от шлакового отвала численность коллембол составляла 1440 экз/м<sup>2</sup> с преобладанием вида *H. Manubralis*, при большей удаленности от отвала количество коллембол резко возрастало до 4644 экз/м<sup>2</sup> и увеличивалось видовое разнообразие с преобладанием *H. Manubralis*, *Jsoтова notabilis*, *Pseudosinella alba*. При этом установлено закономерное изменение численности и видового состава клещей в почвах. Вблизи отвала численность клещей составляла 2131 экз/м<sup>2</sup>. С преобладанием орибатид (*Tectocepheus velatus*, *Cosmochthonius lanatus*, *Puethoribates punctum*). В почвах территорий, расположенных на расстоянии 450 м от отвала, численность клещей резко увеличивалась до 6496 экз/м<sup>2</sup> с большим видовым разнообразием их состава. Из группы орибатид присутствовали два вида *Tectocepheus velatus*, *Puethoribates punctum*, увеличивалось количество гамазовых клещей вида *Arctoseus cetratus*, астигматических клещей вида *Gyрporus sp.* и тромбидиформных вида *Gyрporus sp.*

Общая численность микроартропод достигала 13 863 экз/м<sup>2</sup> при удаленности на 450 м от отвала и снижалась до 3758 экз/м<sup>2</sup> в непосредственной близости к отвалу. Таким образом, численность и видовой состав микроартропод является показателем степени загрязнения почв тяжелыми металлами.

Таким образом, анализ экологического состояния экосистем на территории шлакового отвала п. Думчино показал, что основным фактором деградации почв являются воздействия химических соединений, содержащихся в шлаковых отсевах и обладающих разной способностью к миграции и аккумуляции в природных объектах, а также изменение гравитационного и гидрологического режима терри-

тории под действием большой массы скопления шлаковых отходов. Показателями оценки экологического состояния серых лесных почв и степени их деградации под воздействием антропогенных факторов являются содержание валовых и подвижных форм (соединений) тяжелых металлов, как в верхнем гумусовом слое почвы, так и в почвенном профиле, содержание гумуса, величина рН солевой вытяжки, состояние почвенно-поглощающего комплекса, численность и видовой состав почвенных беспозвоночных.

Экологическое состояние системы «почва — растение» рекомендуется оценивать видовым составом произрастающих растений, способностью их к аккумуляции тяжелых металлов и видовой устойчивостью растений к загрязнению почв тяжелыми металлами.

Показатель интенсивности аккумуляции и миграции тяжелых металлов в экосистеме можно оценивать концентрацией этих элементов и состоянием природных поверхностных вод.

#### ЛИТЕРАТУРА

- [1] *Алексеев Ю.В.* Тяжелые металлы в почвах и растениях. — Л.: Агропромиздат, 1987.
- [2] *Гиляров М.С.* Почвенные беспозвоночные как индикаторы почвенного режима и его изменений под влиянием антропогенных факторов //Биоиндикация состояния окружающей среды Москвы и Подмосковья. — М.: Наука, 1982.
- [3] *Ильин В.Б., Байдина Н.Л., Конарбаева Г.А.* Содержание тяжелых металлов в почвах и растениях Новосибирска //Агрохимия. — 2000. — № 1.
- [4] *Кауричев И.С., Савич В.И., Степанова Л.П.* Геохимическая характеристика ландшафтов. — Орел: ГАУ, 2004.
- [5] *Савич В.И., Парахин Н.В., Сычев В.Г., Степанова Л.П. и др.* Почвенная экология. Орел: ГАУ, 2002.

## INFLUENCE TECHNOGENIC EMISSIONS ON THE ECOLOGICAL CONDITION OF GREY WOOD SOILS

**L.P. Stepanova, A.I. Yashin**

Chair of Agriculture  
The Faculty of Agrobusiness and Ecology  
Orel State Agrarian University  
*Generala Rodina str., 69, Orel, Russia, 302019*

**E.V. Yakovleva**

Chair of Industrial Safety  
The Faculty of Agrotechnik and Energy Supply  
Orel State Agrarian University  
*Generala Rodina str., 69, Orel, Russia, 302019*

The content of heavy metals in soil, plants, water is designated, the variety of living organisms is described, some sensible and relatively resistant to pollution kinds of plants are determined in the following research. The following database concerning the natural reproduction process of the fertility of gray forest floor on the man-caused disturbed territory can be used as the basis of man-made disturbed landscape ecological rehabilitation.

**Key words:** Technogenic emissions, soil cover, migration of metals, grey forest soils, salt aluminium screening.