

ЗАГРЯЗНЕНИЕ
ПРИРОДНОЙ СРЕДЫ

УДК 504.064.2

АНАЛИЗ МИГРАЦИИ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ
В СИСТЕМЕ “ПОЧВА–РАСТЕНИЕ” ПРИ ЭКОЛОГО-ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ
ОЦЕНКЕ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ
ВОКРУГ ПОЛИГОНА ТКО В г. ТАМБОВ

© 2020 г. Н. О. Милютина^{1,*}, Н. Г. Осоловская¹, Н. А. Политаева², **В. В. Куриленко¹**

¹ Санкт-Петербургский государственный университет,
Университетская наб., 7–9, Санкт-Петербург, 199034 Россия

² Санкт-Петербургский политехнический университет,
ул. Политехническая, 29, Санкт-Петербург, 195251 Россия

*E-mail: milyutina_no@mail.ru

Поступила в редакцию 23.09.2019 г.

После доработки 15.01.2020 г.

Принята к публикации 17.01.2020 г.

Представлены результаты оценки загрязненности тяжелыми металлами (ТМ) почво-грунтов и растений вокруг действующего полигона твердых коммунальных отходов (ТКО), расположенного рядом с ранее закрытым полигоном ТКО. Содержание ТМ определялось методом индуктивно связанной плазмы. Проанализирована степень извлечения ТМ корнями растений, естественно произрастающими на данной территории (на примере полыни горькой *Artemisia absinthium* L.). Установлена положительная корреляция между содержанием ТМ в почвах и растениях, произрастающих на них. Рассчитаны коэффициенты переноса ТМ между органами растений, свидетельствующие об их преимущественной аккумуляции в листьях исследуемых растений. Показана эффективность защитных мероприятий действующего полигона, и установлено негативное влияние закрытого полигона ТКО на окружающую среду.

Ключевые слова: полигон ТКО, твердые отходы, тяжелые металлы, миграция ТМ, система “почва–растение”

DOI: 10.31857/S086978092003008X

ВВЕДЕНИЕ

На сегодняшний день в России 90% образующихся твердых коммунальных отходов (ТКО) захораниваются на специально оборудованных полигонах и свалках.

Размещаемые на полигоне твердые отходы взаимодействуют с воздухом и атмосферными осадками. В результате полигон функционирует как “биореактор”, в котором интенсивно протекают биогеохимические процессы. Деструкция органических фракций осуществляется под действием комплекса физических, химических и микробиальных реакций в теле полигона, в результате которых происходят выделение биогаза, фильтрата и тепла, образование твердого вещества, миграция элементов. Захоронение ТКО всегда сопровождается долговременными эмиссиями загрязняющих веществ [4, 6, 17, 19].

В начале деструкции отходов в аэробных условиях под действием кислот, образующихся при разложении органических соединений, начинают

растворяться соединения металлов (Mg, Ca, Mn, Fe, Zn, Pb, Cd, Cr, Ni, Cu), и, как следствие, возрастает их подвижность, что приводит к увеличению концентрации металлов в фильтрате [19].

Несмотря на наличие защитных мероприятий на организованных полигонах ТКО, частой проблемой является распространение загрязняющих элементов на значительные территории, что связано с геологическими, климатогеографическими условиями и особенностями эксплуатации полигона [1, 2, 9, 11, 12, 16], поэтому необходимо проводить мониторинг состояния окружающей среды прилегающей территории полигона.

Обязательная часть экологического мониторинга полигонов ТКО – контроль экологического состояния окружающих их природных сред и объектов. В первую очередь это касается почвогрунтов в связи с их важнейшими экологическими функциями по сохранению сред обитания и видового разнообразия биоты, обеспечения существования биогеоценозов и биосферы в целом [3, 7]. Одно из наиболее актуальных направлений

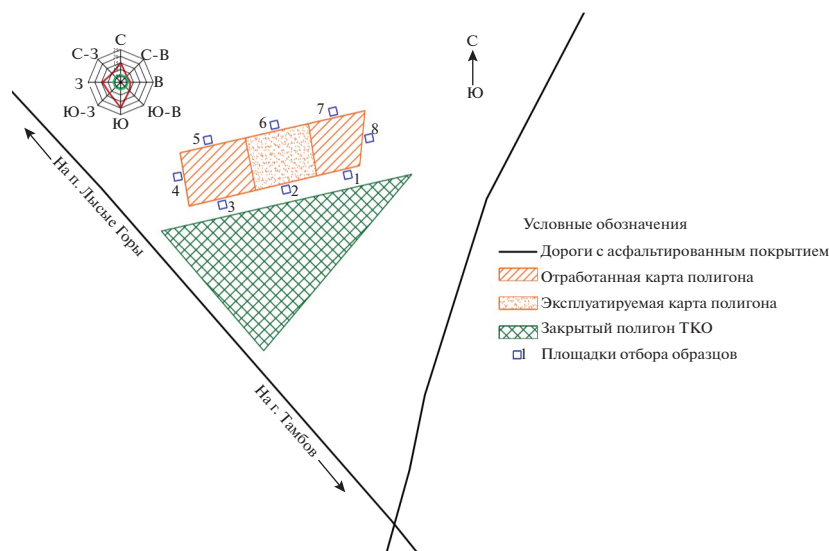


Рис. 1. Схема объекта — полигон с обозначением площадок отбора образцов.

мониторинга почв на территориях, прилегающих к полигонам ТКО — оценка содержания в них тяжелых металлов (ТМ). При этом необходимо учитывать, что в результате комплекса биогеохимических процессов, протекающих в системе “ризосфера—корни—надземная часть растений”, ТМ извлекаются из почвы и связываются в корневой системе растений, после чего происходит перенос металлов из корней в побеги и их аккумуляция в надземных органах растений [5, 15]. Однако без удаления накопивших ТМ растений с загрязненной металлами территории их основная часть вновь возвращается в почву после гибели растений. Поэтому для корректной оценки степени загрязненности грунтов ТМ необходимо анализировать и растения, произрастающие на исследуемой территории, так как почва и растения являются единой системой. Более того, в случае обнаружения загрязнения в почво-грунтах, определение содержания ТМ в растениях необходимо еще и потому, что это позволит оценить возможность использования местных дикорастущих растений для биологической очистки почв методом фиторемедиации. При этом дикорастущие растения, в частности рудеральные растения, заслуживают отдельного внимания, так как они обладают повышенной устойчивостью к действию неблагоприятных факторов.

Цели данного исследования — оценка степени загрязненности ТМ почво-грунтов на прилегающей к действующему полигону ТКО территории и анализ миграции ТМ в растениях, произрастающих на данной территории.

ХАРАКТЕРИСТИКА ОБЪЕКТА

Объектом изучения является полигон захоронения ТКО, входящий в комплекс ООО “КомЭк” по сортировке и размещению отходов. Полигон расположен на территории Тамбовской области между северной частью Тамбовской окружной автодороги и автодорогой “Тамбов—Лысые горы”, в 5 км на северо-запад от г. Тамбова и приблизительно в 1 км от пос. Первомайский. Полигон ТКО функционирует с 2007 г. С южной стороны полигона расположена закрытая городская свалка ТКО. С западной, северной и восточной сторон размещаются пахотные земли (рис. 1).

Растительность на территории вокруг полигона представлена преимущественно травянистыми сообществами с рудеральными видами — полынью горькой *Artemisia absinthium* L., топинамбуром *Helianthus tuberosus* L., крапивой двудомной *Urtica dioica* L., хвощом обыкновенным *Equisetum arvense* L., лопухом большим *Arctium lappa* L., мать-и-мачехой *Tussilago farfara* L. Между действующим и закрытым полигонами встречаются также древесные растения, представленные в основном ясенем обыкновенным *Fraxinus excelsior* L. Однако из преимущественно произрастающих растений повсеместно вокруг полигона распространена только полынь горькая *Artemisia absinthium* L.

Исследуемая территория приурочена к водораздельному склону рек Цна и Челновая, представляет собой слабохолмистую равнину с абсолютными отметками от 180 до 161 м и уклоном с юго-запада на северо-восток.

В геологическом отношении территория расположена на северо-восточном склоне Воронежского массива. В строении площадки принимают участие отложения четвертичной системы (Q),

современный отдел (IV) – продуктивный горизонт почв (р), представленный почвенно-растительным слоем; средне-верхний отдел (II–III) – покровно-делювиальные отложения (Pr), представленные суглинками твердыми; средний отдел (II) – флювиогляциальные отложения днепровской морены (fIII_{dn} и gIII_{dn}), которые представлены глинами и суглинками, а также отложения неогеновой системы (N), представленные песками мелкими.

Согласно инженерно-геологическим изысканиям основанием полигона является водоупорный экран из суглинка и глины мощностью 5.5–6 м и 3.5–5 м, соответственно, с коэффициентом фильтрации от 0.00005 до 0.00075 м/сут. Площадь основания складирования ТКО составляет 16.8 га.

Отходы, выгруженные на полигон, уплотняются и пересыпаются инертным материалом согласно СП 320.1325800.2017¹.

На участке складирования отходов организованы дренаж с автоматизированной насосной станцией для рециркуляции фильтрата, нагорная канава для отвода поверхностных вод с прилегающей территории от участка складирования, земляной вал из грунта для изоляции ТКО.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

На исследуемом полигоне в ходе рекогносцировки объекта были определены 8 площадок размером 30 × 30 м вокруг тела полигона (см. рис. 1), на которых осуществлялся отбор образцов почвогрунтов и растений для последующего анализа. Отбор проб проводился в октябре 2018 г.

Почвы отбирали на каждой площадке по типу конверта на глубине 0–20 см согласно ГОСТ 17.4.4.02-84². Масса объединенной пробы составляла в среднем 1 кг. Пробы высушивали до воздушно-сухого состояния, механически измельчали и просеивали через сито с диаметром ячейки 1 мм. Последующая пробоподготовка образцов проводилась по М-МВИ-80-2008³: навеска массой 1 г подвергалась минерализации методом микроволнового разложения в смеси концентрированных азотной, фтористоводородной и соляной кислот в объемном отношении $\text{HNO}_3 : \text{HF} : \text{HCl} = 5 : 4 : 1$, полученный раствор фильтровался

и анализировался на валовое содержание ТМ (Cu, Ni, Pb, Zn).

Для оценки миграции ТМ в системе “почва–растение” на тех же исследуемых площадках отбиралась полынь горькая *Artemisia absinthium* L., повсеместно распространенная вокруг тела полигона, что позволяло взять пробы полыни на всех площадках отбора образцов для последующего сравнительного анализа. Также немаловажным фактором является то, что среди дикорастущих видов растений полынь рассматривается как биоиндикатор загрязнения наземных экосистем [10, 15]. Масса объединенной пробы растений составляла в среднем 1–1.5 кг. Анализ растительных образцов проводили отдельно: пробы корней, стеблей и листьев. Разделенные растительные пробы промывали дистиллированной водой, после чего высушивали в течение суток в сушильном шкафу при температуре +60°C и измельчали до порошкообразного состояния. Навески массой 0.5 г подвергались озолению смесью концентрированных азотной и хлорной кислот в объемном отношении $\text{HNO}_3 : \text{HClO}_4 = 4 : 1$ при 160°C, затем полученный раствор фильтровался и анализировался на валовое содержание ТМ (Cu, Ni, Pb, Zn).

Количественный анализ на валовое содержание ТМ в образцах определялся методом индуктивно связанной плазмы на оптическом эмиссионном спектрометре ICPE-9000 (Shimadzu, Япония). Анализ образцов осуществлялся в 3-кратной повторности.

Исследования образцов проводились с использованием оборудования ресурсного центра Научного парка СПбГУ “Образовательный ресурсный центр по направлению химия”.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Результаты анализа валового содержания ТМ в исследуемых почво-грунтах и растениях представлены в таблице.

Для оценки уровня загрязненности исследуемыми металлами почв полученные значения концентраций в них металлов сравнивались с ПДК (предельно допустимыми концентрациями) валового содержания ТМ для почв⁴. ПДК (в мг/кг) составляет для: меди 55, никеля – 85, свинца – 30 и цинка – 100. Анализируя полученные данные, можно отметить, что в местах отбора проб под № 1, 2 и 3 (см. рис. 1) содержания ТМ в почве превышены по сравнению с ПДК. Содержание меди на данных площадках выше ПДК в 1.6–4.3 раза, свинца – в 1.6–4.2 раза, цинка – 3.1–7.9 раза, тогда как содержание никеля допустимо отно-

¹ СП 320.1325800.2017 Полигоны для твердых коммунальных отходов. Проектирование, эксплуатация и рекультивация. М.: Стандартинформ, 2017. 16 с. <http://docs.cntd.ru/document/556610331>

² ГОСТ 17.4.4.02-84 Охрана природы. Почвы. Методы отбора и подготовки проб для химического, бактериологического, гельминтологического анализа. М.: Стандартинформ, 2008. 8 с. <http://docs.cntd.ru/document/1200005920>

³ М-МВИ-80-2008 Методика выполнения измерений массовой доли элементов в пробах почв, грунтов и донных отложениях методами атомно-эмиссионной спектроскопии. СПб, 2008. 29 с. <http://docs.cntd.ru/document/471813564>

⁴ ГН 2.1.7.2041-06 Предельно допустимые концентрации (ПДК) химических веществ в почве. М.: Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2006. 15 с. <http://docs.cntd.ru/document/901966754>

Таблица. Концентрация Cu, Ni, Pb и Zn (мг/кг) в отобранных образцах почво-грунтов и растений полыни

№ площадки	Почва	Корни	Стебли	Листья
Cu				
1	236.85 ± 9.95	23.32 ± 0.79	18.23 ± 0.77	40.94 ± 1.76
2	134.22 ± 7.11	21.00 ± 0.97	18.49 ± 0.80	26.33 ± 1.18
3	89.16 ± 3.68	18.65 ± 0.78	16.07 ± 0.64	25.06 ± 1.07
4	22.19 ± 0.88	15.06 ± 0.62	8.22 ± 0.37	15.40 ± 0.48
5	20.88 ± 0.94	14.79 ± 0.67	7.94 ± 0.44	18.31 ± 0.79
6	20.91 ± 0.79	16.16 ± 0.63	8.31 ± 0.31	14.64 ± 0.63
7	22.14 ± 0.94	15.77 ± 0.80	10.94 ± 0.37	21.59 ± 0.92
8	42.62 ± 1.96	19.27 ± 0.82	15.49 ± 0.74	17.87 ± 0.77
Ni				
1	61.85 ± 2.72	18.69 ± 1.03	6.09 ± 0.26	27.45 ± 1.25
2	86.36 ± 3.65	13.07 ± 0.57	7.96 ± 0.34	28.08 ± 1.17
3	56.03 ± 2.86	15.09 ± 0.55	5.02 ± 0.23	21.35 ± 0.63
4	22.46 ± 0.98	5.27 ± 0.22	2.99 ± 0.13	12.32 ± 0.39
5	25.32 ± 1.15	6.83 ± 0.29	3.15 ± 0.13	5.42 ± 0.23
6	23.26 ± 0.98	7.21 ± 0.30	5.10 ± 0.20	17.50 ± 0.73
7	22.70 ± 0.95	8.41 ± 0.37	5.63 ± 0.25	15.49 ± 0.65
8	30.65 ± 1.29	5.53 ± 0.27	3.26 ± 0.14	20.64 ± 0.89
Pb				
1	126.75 ± 6.46	5.64 ± 0.24	5.14 ± 0.22	26.09 ± 1.11
2	112.85 ± 5.25	<1.0	8.00 ± 0.40	15.07 ± 0.64
3	46.85 ± 2.11	<1.0	<1.0	5.96 ± 0.25
4	<1.00	<1.0	<1.0	<1.0
5	<1.00	<1.0	<1.0	<1.0
6	<1.00	<1.0	<1.0	<1.0
7	<1.00	<1.0	1.47 ± 0.06	<1.0
8	2.93 ± 0.14	<1.0	<1.0	<1.0
Zn				
1	786.49 ± 33.03	89.09 ± 4.72	113.67 ± 5.29	269.69 ± 14.21
2	643.55 ± 28.64	65.54 ± 2.80	188.02 ± 8.72	166.07 ± 7.12
3	314.85 ± 13.57	71.09 ± 2.99	123.32 ± 5.31	156.07 ± 7.60
4	35.64 ± 1.14	30.56 ± 1.30	38.92 ± 1.72	38.21 ± 1.62
5	34.22 ± 1.59	36.13 ± 1.76	55.48 ± 2.36	66.63 ± 3.57
6	30.44 ± 1.38	34.88 ± 1.44	34.49 ± 1.42	39.54 ± 1.66
7	29.86 ± 1.31	46.94 ± 1.88	64.80 ± 2.77	51.29 ± 2.40
8	56.12 ± 2.55	37.44 ± 1.57	71.44 ± 3.44	60.30 ± 2.76

сительно ПДК. При этом в остальных местах отбора (№ 4–8) содержание исследуемых металлов меньше ПДК: Cu в среднем в 2.3 раза, Ni – в 3.5 раза, Zn – в 2.8 раза. В точке № 8 содержание Pb составило 2.93 мг/кг, что меньше ПДК в 10 раз, а в прочих местах отбора оказалось меньше предела обнаружения (<1.00 мг/кг).

Из полученных результатов следует, что почво-грунты загрязнены только с южной стороны полигона, где к исследуемому объекту примыкает ранее закрытый рекультивированный полигон ТКО.

Основными факторами переноса вещества в данных геологических условиях являются рельеф местности и направление ветра (роза ветров). Учитывая уклон территории объекта с юго-запада на северо-восток, а также господствующие направления ветров (южное и западное), можно сделать вывод, что загрязнение почво-грунтов определяется воздействием не исследуемого объекта, а влиянием граничащего уже закрытого полигона. При этом природоохранные мероприятия действующего полигона ТКО выполняют свое назначение и позволяют предотвратить распространение загрязняющих веществ за пределы полигона.

В результате анализа содержания загрязняющих ТМ в растениях было выявлено наличие положительной корреляции между повышенными уровнями концентраций Cu, Ni, Pb и Zn в почво-грунтах, примыкающих к полигону ТКО, и уровнями соответствующих ТМ в органах растений, произрастающих на данной территории. В настоящее время не существует единой оценки допустимых концентраций ТМ в органах растений, несмотря на то, что ряд исследователей создали шкалы по дефицитному, оптимальному и избыточному содержанию отдельных элементов в растениях [13, 18, 22, 23]. Однако данные классификации имеют широкую вариабельность и могут сильно меняться для частных систем “почва–растение”, что важно для проведения границы между достаточными и токсичными количествами микроэлементов в растениях. В связи с этим в данной работе основное внимание было уделено оценке характера миграции ТМ в системе “почва–растение”.

При анализе миграции ТМ в органах *Artemisia absinthium* L. наблюдается тенденция максимального концентрирования ТМ в листьях, что является хорошим показателем для использования данного растения в качестве местного фиторемедиатора, позволяющего очищать почво-грунты от ТМ, снижая тем самым их концентрацию в потоке загрязняющих веществ, движущихся в направлении севера и северо-востока. Содержание определяемых ТМ в стеблях растений минимально, что объясняется транзитной функцией данного органа растений [8]. Также необходимо от-

метить, что ярко выражена способность полыни аккумулировать большее количество Zn и Ni из почво-грунтов, где превышены значения ПДК, по сравнению с почво-грунтами с допустимым содержанием ПДК по ТМ. Однако значения содержания Cu в корнях растений, произрастающих на загрязненных площадках лишь незначительно превышают содержания Cu в корнях растений, отобранных с северной стороны полигона. Этот факт позволяет полагать, что сорбционная емкость корней полыни горькой *Artemisia absinthium* L. в отношении поглощаемой ими меди относительно невелика.

Анализ данных по миграции свинца показывает, что его содержание в корнях преимущественно ниже предела обнаружения, т.е. 1 мг/кг (за исключением площадки № 1), что связано с низкой биологической доступностью Pb [21]. Однако в нескольких пробах свинец был обнаружен в стеблях и листьях, что можно объяснить двумя причинами: 1 – в процессе эолового разноса с тела закрытого полигона ТМ могут оседать и связываться надземными частями растений; 2 – миграцией основной части поглощенного металла в надземные органы полыни.

В данном исследовании основной интерес в плане миграции элементов в системе “почва–растение” представляют именно площадки, на которых выявлено превышение ТМ в почво-грунтах относительно ПДК. Для этих образцов были рассчитаны коэффициенты переноса K_p металлов в системах “почва–корень” и “корень–листья”, определяемые как отношение содержания элемента в корне к его содержанию в почве и отношение содержания элемента в листьях к его содержанию в корне соответственно. Коэффициенты были рассчитаны для Cu, Ni и Zn. Полученные результаты представлены на рис. 2 и 3.

На рис. 2 видно, что в системе “почва–корень” эффективность извлечения и переноса ТМ различается как для отдельных металлов, так и в зависимости от площадки отбора образцов. Для меди K_p варьирует в диапазоне от 0.10 до 0.21, для никеля – от 0.15 до 0.30, для цинка – от 0.10 до 0.22. Установленные коэффициенты несколько ниже приведенных в других аналогичных исследованиях [10, 15], что, вероятно, связано с повышенным содержанием Fe в почвах, на которых произрастали отобранные растения. Данное явление согласуется с представлениями о конкуренции металлов за места их связывания в корнях растений, которая может повлиять на коэффициенты переноса ТМ в системе “почва–корень” на территориях с полиметаллическим загрязнением [20].

Из рис. 3 следует, что коэффициент переноса элементов из корней в листья растения выше коэффициента извлечения элемента из почвы, на которой данные растения были отобраны, что го-

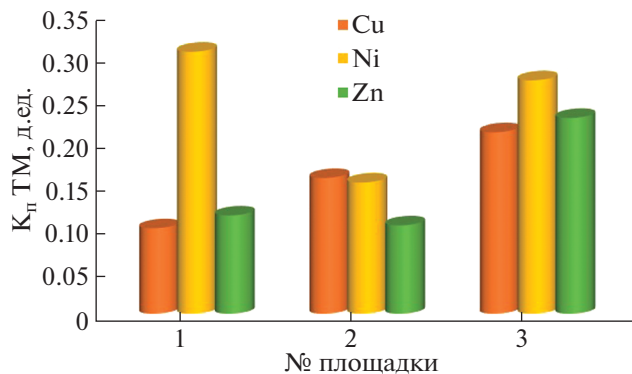


Рис. 2. Коэффициент переноса ТМ в системе “почва–корень”.

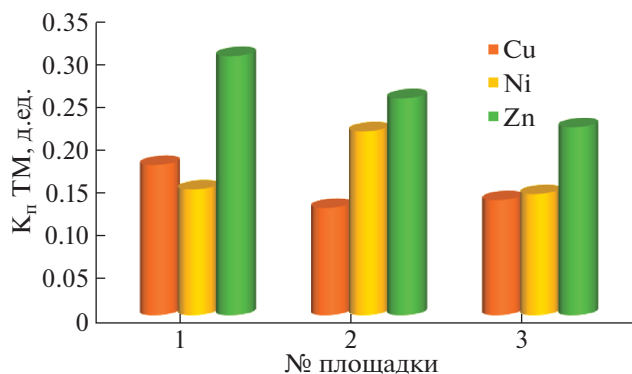


Рис. 3. Коэффициент переноса ТМ в системе “корень–листья”.

ворит о том, что полынь горькая имеет способность накапливать металлы в надземной части растения, а не концентрировать их в корнях [10, 11, 15]. В системе “корень–листья” коэффициент переноса меди варьирует от 1.25 до 1.75, никеля – от 1.42 до 2.15, цинка – от 2.20 до 3.03. При этом можно отметить, что K_p металлов между органами растений менее вариабельны для каждого элемента, чем коэффициенты переноса в системе “почва–корень”, что связано с аккумуляющей способностью корней исследуемых растений в отношении разных металлов, а также с высокими различиями концентраций металлов в почвах на загрязненной территории.

Из результатов проведенного исследования следует, что защитные мероприятия действующего полигона ТКО не позволяют тяжелым металлам распространяться за его пределы, но при этом имеется зона воздействия старого полигона на прилегающую к нему территорию. В связи с этим авторы рекомендуют использовать растения, естественно произрастающие между существующим и закрытым полигонами, в целях фитореме-

диационной очистки почв [14], снижая тем самым концентрацию ТМ в потоке загрязняющих веществ от закрытого полигона. Применение технологии фиторемедиации полынью горькой *Artemisia absinthium* L. возможно рекомендовать для детоксикации почв полигонов на территории Российской Федерации, в пределах естественного ареала произрастания этого вида. Однако следует учитывать химический состав грунтов, на которых она произрастает, так как это влияет на степень извлечения ТМ корнями растения в связи с конкуренцией металлов.

ВЫВОДЫ

1. Проведена оценка загрязненности почвогрунтов тяжелыми металлами вокруг действующего с 2007 г. полигона ТКО в г. Тамбов, расположенного рядом с закрытой рекультивированной городской свалкой ТКО. Показано, что применяемые технологии и защитные мероприятия на эксплуатируемом полигоне эффективны. Однако выявлено негативное влияние закрытого полигона (загрязнения почво-грунтов по ТМ превышают ПДК) на зону между ним и исследуемым объектом.

2. Изучена миграция тяжелых металлов из почв в произрастающие на них растения (на примере *Artemisia absinthium* L.). Установлена положительная корреляция между повышенными уровнями концентраций Cu, Ni, Pb и Zn в почвогрунтах и уровнями содержания соответствующих ТМ в органах исследуемых растений. При этом максимальные содержания исследуемых элементов были обнаружены в листьях растений.

3. Проанализирована степень извлечения ТМ из почво-грунтов растениями, естественно произрастающими на данной территории (на примере *Artemisia absinthium* L.). Установлены коэффициенты переноса элементов по органам растения в системе “корень–листья”, которые позволяют дать рекомендации по использованию полыни в качестве местного фиторемедиатора для снижения концентрации ТМ в миграционном потоке элементов от закрытого полигона.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Безуглова О.С., Невидомская Д.Г., Морозов И.В. Почвы территорий полигонов твердых бытовых отходов и их экология. Ростов н/Д: ЮФУ, 2010. 263 с.
2. Бузина И.Н., Пузик В.К. Состояние почв и оценка окружающей среды вокруг полигона твердых бытовых отходов // Вестник БГСХА. 2014. № 3. С. 102–106.
3. Витковская С.Е. Твердые бытовые отходы: антропогенное звено биологического круговорота. СПб.: АФИ, 2012. 132 с.

4. Грибанова Л.П. Процессы на полигонах // ТБО. 2006. № 7. С. 4–7.
5. Гришина А.В., Иванова В.Ф. Транслокация тяжелых металлов и приемы детоксикации почв(грунтов) // Агробиохимический вестник. 1997. № 3. С. 36–41.
6. Гуман О.М., Долинина И.А. Гидрогеохимическая модель полигона ТБО // Известия УГГГА. Сер. Геология и геофизика. Вып. 18. 2003. С. 262–273.
7. Добровольский Г.В., Никитин Е.Д. Сохранение почв как незаменимого компонента биосферы: функционально-экологический подход. М.: Наука/Интерпериодика, 2000. 185 с.
8. Квеситадзе Г.И., Хатисашвили Г.А., Садунишвили Т.А., Евстигнеева З.Г. Метаболизм антропогенных токсикантов в высших растениях. М.: Наука, 2005. 199 с.
9. Королев В.А. Очистка грунтов от загрязнений. М.: Наука/Интерпериодика, 2001. 365 с.
10. Кудряшова В.И., Башмакова Д.И., Гудошникова Т.Н. Дикорастущие растения как объект мониторинга загрязнения почвы тяжелыми металлами // Вестник Мордовского ун-та. Ботаника и физиология растений. 2007. № 4. С. 22–26.
11. Куриленко В.В., Подлипский И.И., Осмоловская Н.Г. Эколого-геологическая и биогеохимическая оценка воздействия полигонов твердых отходов на состояние окружающей среды // Экология и промышленность России. 2012. № 11. С. 28–32.
12. Малюхин Д.М., Поздняков В.А., Бакина Л.Г. и др. Экспериментальное задержание многолетними травами грунта техногенного из твердых бытовых/коммунальных отходов, используемого при рекультивации полигонов в качестве плодородного грунта // Биосфера. 2018. № 3. С. 40–44.
13. Обухов А.И., Ефремова Л.Л. Охрана и рекультивация почв, загрязненных тяжелыми металлами // Тяжелые металлы в окружающей среде и охрана природы: матер. II Всесоюз. конф. М., 1988. Ч. 1. С. 23–35.
14. Патент RU 2665073 С1 “Фиторемедиационный способ очистки почв, загрязненных тяжелыми металлами”. Авторы – Куриленко В.В., Осмоловская Н.Г. https://yandex.ru/patents/doc/RU2665073C1_20180828
15. Подлипский И.И. Аккумулятивная биоиндикация в инженерно-экологических изысканиях // Инженерные изыскания. 2014. № 1. С. 54–62.
16. Подлипский И.И. Геоэкологическая оценка прилегающих территорий полигона бытовых отходов (г. Питкяранта, республика Карелия) // Вестник СПбГУ. Сер. 7. Геология. География. 2013. № 2. С. 48–56.
17. Подлипский И.И. Полигоны бытовых отходов как объекты геологического исследования // Вестник СПбГУ. Сер. 7. Геология. География. 2010. № 1. С. 15–31.
18. Прохорова Н.В., Матвеев Н.М., Павловский В.А. Аккумуляция ТМ дикорастущими и культурными растениями в лесостепном и степном Поволжье. Самара: Изд-во Самарского ун-та, 1998. 131 с.
19. Путилина В.С., Галицкая И.В., Юганова Т.И. Влияние органического вещества на миграцию тяжелых металлов на участках складирования твердых бытовых отходов. Новосибирск: ГПНТБ СО РАН, 2005. 100 с.
20. Титов А.Ф., Казнина Н.М., Таланова В.В. Тяжелые металлы и растения. Петрозаводск: Карельский научный центр РАН, 2014. 194 с.
21. Cristaldi A., Contia G.O., Jho E.H., Zuccarello P., Grasso A., Copata C., Ferrante M. Phytoremediation of contaminated soils by heavy metals and PAHs. A brief review // Environmental Technology & Innovation. 2017. V. 8. P. 309–326.
22. Kabata-Pendias A., Pendias H. Trace elements in soils and plants. 3rd Edition. CRC Press, Boca Raton, 2001. 403 p.
23. Verloo M., Cottenie A., Landschoot G.Van. Analytical and biological criteria with regard to soil pollution // Landwirtschafliche Forschung: Kongressband. 1982. P. 394–403.

ANALYSIS OF HEAVY METAL MIGRATION IN SOIL-PLANT SYSTEM UPON THE ECOLOGICAL-GEOLOGICAL ASSESSMENT OF THE ENVIRONMENT AROUND THE MUNICIPAL SOLID WASTE LANDFILL IN TAMBOV

N. O. Milyutina^{a, #}, N. G. Osmolovskaya^a, N. A. Politaeva^b, and V. V. Kurilenko^a

^a St. Petersburg State University, Universitetskaya nab., 7–9, St. Petersburg, 199034 Russia

^b St. Petersburg Polytechnic University, Politekhnikeskaya ul., 29, St. Petersburg, 195251 Russia

[#]E-mail: milyutina_no@mail.ru

The assessment results of soil and plant pollution with heavy metals around the existing municipal solid waste (MSW) landfill located at the border with the closed MSW landfill are presented. The content of heavy metals (HM) was determined by inductively coupled plasma. The degree of HM extraction by roots of plants natu-

rally growing in the given territory is analyzed by the example of bitter wormwood *Artemisia absinthium* L. A positive correlation was found between the content of HM in soils and plants growing on them. The migration factors of HM between plant organs were calculated, indicating the predominant accumulation of HM in leaves of sampled plants. The effectiveness of protective measures at the existing landfill is shown and the negative impact of the closed MSW landfill on the environment is revealed.

Keywords: MSW landfill, solid waste, heavy metals, HM migration, soil-plant system

REFERENCES

1. Bezuglova, O.S., Nevidomskaya, D.G., Morozov, I.V. *Pochvy territorii poligonov tverdykh bytovykh otkhodov i ikh ekologiya* [Soils of solid waste landfill territories and their ecology]. Rostov-on-Don, YuFU Publ., 2010, 263 p. (in Russian)
2. Buzina, I.N., Puzik, V.K. *Sostoyanie pochv i otsenka okruzhayushchei sredy vokrug poligona tverdykh bytovykh otkhodov* [Soil condition and assessment of the environment around the solid waste landfill]. *Vestnik BGSKhA*, 2014, no.3, pp. 102–106. (in Russian)
3. Vitkovskaya, S.E. *Tverdye bytovye otkhody: antropogennoe zveno biologicheskogo krugovorota*. [Municipal solid waste: anthropogenic link in the biological cycle]. St. Petersburg, AFI Publ., 2012, 132 p. (in Russian)
4. Griбанова, L.P. *Protsessy na poligonakh* [Landfill processes]. *TBO*, 2006, no.7, pp. 4–7. (in Russian)
5. Grishina, A.V., Ivanova, V.F. *Translokatsiya tyazhelykh metallov i priemy detoksikatsii pochv (gruntov)* [Translocation of heavy metals and methods of soil detoxification]. *Agrokhimicheskii vestnik*, 1997, no.3, pp. 36–41. (in Russian)
6. Guman, O.M., Dolinina, I.A. *Gidrogeokhimicheskaya model' poligona TBO* [Hydrogeochemical model of a landfill]. *Izvestiya UGGGA. Ser. Geologiya i geofizika*, 2003, no.18, pp. 262–273. (in Russian)
7. Dobrovolskii, G.V., Nikitin, E.D. *Sokhranenie pochv kak nezamenimogo komponenta biosfery: funktsional'no-ekologicheskii podkhod* [Soil conservation as an indispensable component of the biosphere: a functional and ecological approach]. Moscow, Nauka Publ., 2000, 185 p. (in Russian)
8. Kvesitadze, G.I., Khatishashvili, G.A., Sadunishvili, T.A., Evstigneeva, Z.G. *Metabolizm antropogennykh toksikantov v vysshykh rasteniyakh* [Metabolism of anthropogenic toxicants in higher plants]. Moscow, Nauka Publ., 2005, 199 p. (in Russian)
9. Korolev, V.A. *Ochistka gruntov ot zagryaznenii* [Soil cleaning from pollution]. Moscow, Nauka Publ., 2001, 365 p. (in Russian)
10. Kudryashova, V.I., Bashmakova, D.I., Gudoshnikova, T.N. *Dikorastushchie rasteniya kak ob'ekt monitoringa zagryazneniya pochvy tyazhelymi metallami* [Wild plants as an object of monitoring soil pollution by heavy metals]. *Vestnik Mordovskogo Univ. Botanika i fiziologiya rastenii*, 2007, no.4, pp. 22–26. (in Russian)
11. Kurilenko, V.V., Podlipskii, I.I., Osmolovskaya, N.G. *Ekologo-geologicheskaya i biogeokhimicheskaya otsenka vozdeistviya poligonov tverdykh otkhodov na sostoyanie okruzhayushchei sredy* [Ecological, geological and biogeochemical assessment of the impact of solid waste landfills on the environment]. *Ekologiya i promyshlennost' Rossii*, 2012, no.11, pp. 28–32. (in Russian)
12. Malyukhin, D.M., Pozdnyakov, V.A., Bakina, L.G. et al. *Ekspertimetal'noe zadernenie mnogoletnimi travami grunta tekhnogennogo iz tverdykh bytovykh/kommunal'nykh otkhodov, ispol'zuemogo pri rekul'tivatsii poligonov v kachestve plodorodnogo grunta* [Experimental sowing by perennial grasses of technogenic soil from municipal solid waste used in landfill reclamation as fertile soil]. *Biosfera*, 2018, no.3, pp. 40–44. (in Russian)
13. Obukhov, A.I., Efremova, L.L. *Okhrana i rekul'tivatsiya pochv, zagryaznennykh tyazhelymi metallami* [Protection and remediation of soils contaminated with heavy metals]. *Materialy II Vsesoyuznoi konferentsii "Tyazhelye metally v okruzhayushchei srede i okhrana prirody"* [Proc. II All-Union Conference "Heavy metals in the environment and nature conservation"]. Moscow, 1988, part 1, pp. 23–35. (in Russian)
14. Kurilenko, V.V., Osmolovskaya, N.G. *Fitoremediatsionnyi sposob ochistki pochv, zagryaznennykh tyazhelymi metallami* [Phytoremediation method for cleaning soils contaminated with heavy metals]. Patent RF, no. 2665073, 2018. (in Russian) https://yandex.ru/patents/doc/RU2665073C1_20180828
15. Podlipskii, I.I. *Akkumulyativnaya bioindikatsiya v inzhenerno-ekologicheskikh izyskaniyakh* [Accumulative bioindication in engineering and environmental survey]. *Inzhenernye izyskaniya*, 2014, no.1, pp. 54–62. (in Russian)
16. Podlipskii, I.I. *Geoekologicheskaya otsenka prilegayushchikh territorii poligona bytovykh otkhodov (g. Pitkäranta, respublika Kareliya)* [Geoecological assessment of the adjacent territories to the landfill (Pitkäranta, Republic of Karelia)]. *Vestnik SPBGU. Geologiya. Geografiya*, 2013, no. 2, pp. 48–56. (in Russian)
17. Podlipskii, I.I. *Poligony bytovykh otkhodov kak ob'ekty geologicheskogo issledovaniya* [Landfills as objects of geological research]. *Vestnik SPBGU. Geologiya. Geografiya*, 2010, no. 1, pp. 15–31. (in Russian)
18. Prokhorova, N.V., Matveev, N.M., Pavlovskii, V.A. *Akkumulyatsiya TM dikorastushchimi i kul'turnymi rasteniyami v lesostepnom i stepnom Povolzh'e* [Accumulation of HM by wild-growing and cultivated plants in the for-

- est-steppe and steppe Volga region]. Samara, Samarskii Univ. Publ., 1998. 131 p. (in Russian)
19. Putilina, V.S., Galitskaya, I.V., Yuganova, T.I. *Vliyaniye organicheskogo veshchestva na migratsiyu tyazhelykh metallov na uchastkakh skladirovaniya tverdykh bytovykh otkhodov* [The effect of organic matter on the migration of heavy metals in areas of municipal solid waste storage]. Novosibirsk, State Public Scientific and Technical Library, 2005, 100 p. (in Russian)
20. Titov, A.F., Kaznina, N.M., Talanova, V.V. *Tyazhelye metally i rasteniya* [Heavy metals and plants]. Petrozavodsk, Karelian Science Center RAS, 2014, 194 p.
21. Cristaldi, A., Contia, G.O., Jho, E.H., Zuccarello, P., Grasso, A., Copata, C., Ferrante, M. Phytoremediation of contaminated soils by heavy metals and PAHs. A brief review. *Environmental Technology & Innovation*, 2017, no. 8, pp. 309–326.
22. Kabata-Pendias, A., Pendias, H. Trace elements in soils and plants. 3rd Edition. CRC Press, Boca Raton, 2001. 403 p.
23. Verloo, M., Cottenie, A., Landschoot, G. Van. Analytical and biological criteria with regard to soil pollution. *Landwirts-schaftliche Forschung: Kongressband*, 1982, pp. 394–403.