УДК 504.05

Николай Васильевич Михальчук[1], Полина Владимировна Качанович[2], Максим Игоревич Хващевский[3], Анна Михайловна Подлужная[4]
[1]канд. биол. наук, доц., директор Полесского аграрно-экологического института Национальной академии наук Беларуси
[2, 3, 4]мл. науч. сотрудник лаборатории биогеохимии Полесского аграрно-экологического института Национальной академии наук Беларуси
Mikalay Mikhalchuk[1], Polina Kachanovich[2], Maksim Khvashcheuski[3], Hanna Padluzhnaya[4]
[1]Candidate of Biological Sciences, Associate Professor, Director of the Polesie Agrarian Ecological Institute of National Academy of Sciences of Belarus
[2, 3, 4]Junior Researcher of the Laboratory of Biogeochemistry of the Polesie Agrarian Ecological Institute of National Academy of Sciences of Belarus
e-mail: tyres810@gmail.com

СОДЕРЖАНИЕ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ В ПОЧВАХ ИМПАКТНЫХ ЗОН НЕКОТОРЫХ ПОЛИГОНОВ ТВЕРДЫХ КОММУНАЛЬНЫХ ОТХОДОВ БРЕСТСКОЙ ОБЛАСТИ*

Представлены данные о содержании тяжелых металлов и микроэлементов (Pb, Cd, Cu, Zn, Mn, Ni, Co, Cr, Mo, As) в лесных подстилках и верхних слоях почв в зонах влияния полигонов твердых коммунальных отходов городов Пинска, Кобрина, Бреста, Баранович, Березы и Лунинца. В большинстве случаев содержание исследованных элементов укладывается в нормы ПДК, однако зафиксированы отдельные превышения опасных токсикантов в подстилках, а также в некоторых пробах почв импактных зон полигонов ТКО; при этом почвы отличаются никель-хромовой специализацией. В зоне влияния полигона ТКО г. Барановичи установлено формирование техногеохимической аномалии мышьяка. В ближнем к полигону ТКО г. Березы радиусе (северный сектор) выявлена контрастная никель-ванадиевая геохимическая аномалия. Наиболее высокий суммарный индекс загрязнения почв характерен для зон воздействия полигонов ТКО городов Лунинец и Береза.

Ключевые слова: *полигоны твердых коммунальных отходов, тяжелые металлы, почвы, подстилки, загрязнение.*

The Content of Heavy Metals in the Soils of Impact Zones of Some Landfills of the Brest Region

Maintenance Data of heavy metals and trace elements (Pb, Cd, Cu, Zn, Mn, Ni, Co, Cr, Mo, As) in forest litter and soil upper layers in the influence zones of Pinsk, Kobrin, Brest, Baranovichi, Bereza and Luninets MSW landfills are presented in the article. In most cases, the elements maintenance doesn't exceed maximum permissible concentrations. But the excess of dangerous toxicants was recorded in some samples of forest litter near landfills and soils of impact zones of landfills. The soils of the landfills in the south-west of Belarus are characterized of increasing nickel and chromium content compared with the background territories. The contrasting nickel-vanadium geochemical anomaly was identified in the near radius of the Bereza MSW landfill (northern sector). The highest total index of soil pollution is typical for the zones affected by the Luninets and Bereza MSW landfills.

Key words: *municipal solid waste landfills, heavy metals, soils, forest litter.*

Введение

В настоящее время основным и наименее затратным путем утилизации твердых коммунальных отходов (ТКО) является их захоронение на специально отведенных и оборудованных полигонах [1]. В Республике Беларусь в 2018 г. на таких полигонах размещено 22,5 млн м^3 ТКО, или около 3,1 млн т, а также 0,8 млн т отходов производства, не относящихся к коммунальным.

**Работа выполнена в рамках конкурса БРФФИ-Брест 2022 (проект Х22Б-010, № госрегистрации 20220931) «Оценка состояния окружающей среды в зонах влияния полигонов твердых коммунальных отходов с определением их эксплуатационных возможностей и разработкой мероприятий по оптимизации экологической ситуации».*

В Республике Беларусь хорошо разработана нормативно-правовая база в сфере обращения с отходами, основу которой составляют: Закон Республики Беларусь «Об обращении с отходами» от 20.07.2007 г. № 271-З, Национальная стратегия по обращению с твердыми коммунальными отходами и вторичными материальными ресурсами в Республике Беларусь на период до 2035 г. (утверждена постановлением Совета Министров Республики Беларусь от 28.07.2017 г. № 567), Концепция создания объектов по сортировке и использованию твердых коммунальных отходов и полигонов для их захоронения (утверждена постановлением Совета Министров Республики Белпрусь от 23.10.2019 г. № 715) (далее – Концепция). Согласно указанным документам, основной целью осуществляемых мероприятий по обращению с ТКО является их экологически безопасное захоронение с минимизацией отрицательного воздействия на окружающую среду (поверхностные и подземные воды, почвы, атмосферный воздух, растительность) и исключение риска здоровью населения.

В соответствии с Концепцией в Брестской области вместо 27 ныне эксплуатируемых полигонов к 2030 г. будет создано шесть укрупненных региональных объектов: из них четыре – в период до 2025 г. и два – к 2030 г.

Несмотря на обустройство защитных сооружений, прежде всего потивофильтрационных экранов, полигоны в течение десятков и сотен лет способны оказывать негативное воздействие на компоненты окружающей среды, включая почвы.

Среди широкого перечня веществ–загрязнителей почв наиболее опасными являются тяжелые металлы (ТМ). Почва, благодаря своим свойствам и огромной площади активной поверхности тонкодисперсной части, способна к депонированию токсичных соединений. Одновременно она становится одним из важнейших биогеохимических барьеров для большинства поллютантов на пути их миграции из атмосферы в поверхностные и грунтовые воды [2; 3].

Цель данного исследования – определить содержание тяжелых металлов в лесных подстилках и поверхностных слоях почв в зонах влияния полигонов ТКО, претендующих на статус межрайонных объектов.

Методы и материал исследований

Исследовались почвы в зонах влияния шести полигонов ТКО: г. Пинска (д. Вулька-Городищенская), г. Кобрина (д. Каташи), г. Бреста (окрестности д. Струга), г. Баранович (д. Деревная), г. Березы (д. Речица) и г. Лунинца.

Пробные площадки (ПП) закладывались по предполагаемому градиенту наиболее интенсивного загрязнения прилегающих к полигонам ТКО природных и агроэкосистем. В окрестностях большинства полигонов естественная растительность представлена сосновыми лесами.

Так, вокруг полигона ТКО г. Бреста произрастают средневозрастные (50–65 лет), монодоминантные, в отдельных случаях с небольшой примесью березы бородавчатой сосняки мшистые.

Почвы дерново-подзолистые песчаные с относительно простым строением профиля. Подстилка маломощная (до трех см), горизонт A_1 не более 10–12 см, который, как правило, сменяется подзолистым горизонтом A_2 мощностью около 10 см, вниз по профилю сменяемый переходным горизонтом A_2B_1; с глубины около 35–40 см дифференцируется иллювиальный горизонт B_2 желто-охристой окраски.

Типичная схема закладки пробных площадок показана для полигона ТКО г. Бреста (рисунок 1).

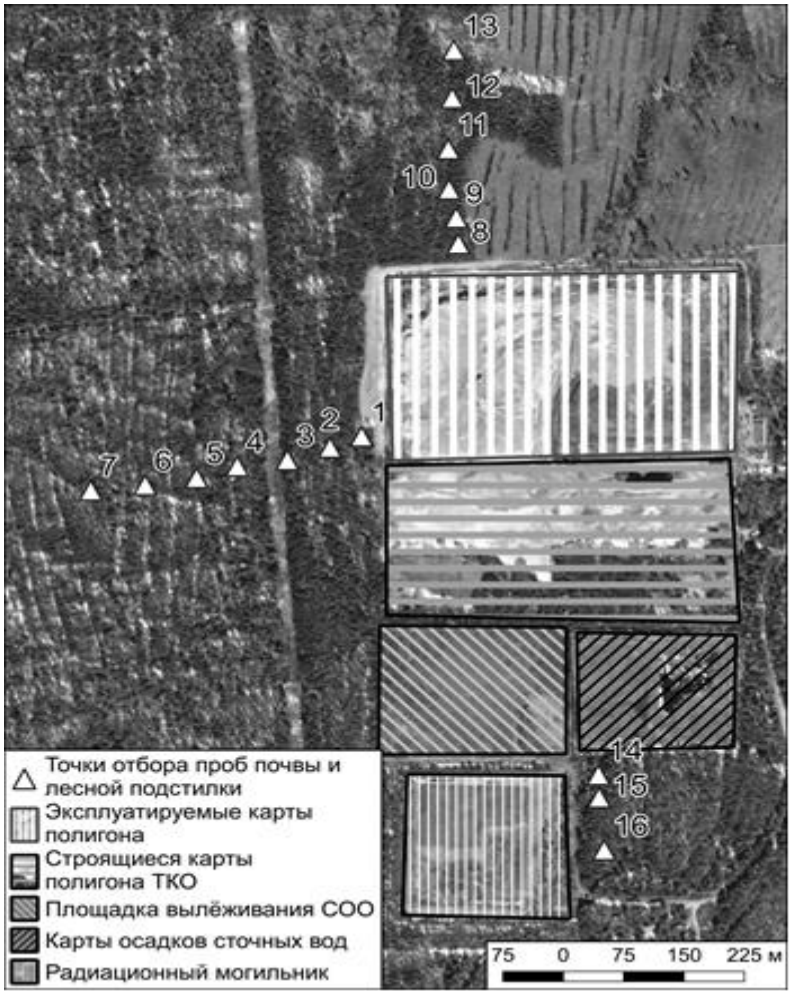

Рисунок 1 – Схема расположения пробных площадок в зоне влияния полигона ТКО г. Бреста (окрестности д. Струга)

Образцы лесных подстилок и пробы почв из горизонта A_1 с глубины 0–2 см и 2–10 см отбирались в 2021–2022 гг. методом конверта по ГОСТ 17.4.4.02-2017 «Методы отбора проб для химического, бактериологического, гельминтологического анализа», а также ТКП 17.03-02-2020 (33140) «Правила и порядок определения загрязнения земель (включая почвы) химическими веществами».

Их исследования на содержание ТМ проводились в условиях аккредитованных лабораторий Полесского аграрно-экологического института Национальной академии наук Беларуси методом атомно-эмиссионной спектроскопии с индуктивно-связанной плазмой iCAP 7200 DUO в соответствии с ГОСТ ISO 22036-2014 «Качество почвы.

Определение микроэлементов в экстрактах почвы с использованием атомно-эмиссионной спектрометрии индуктивно связанной плазмы».

Оценка степени загрязнения почв проводилась методом сравнения с ПДК/ОДК, а также с фоновыми показателями.

Коэффициент концентрации (или аномальности) (Кс) элемента определялся отношением его фактического содержания в точке опробования к содержанию в аналогичной природной среде на фоновом участке: Кс = Ci/Сф, где Ci – содержание химического элемента в точке опробования, Сф – среднее содержание элемента на фоновом участке.

Порогом аномальности считалось 1,5-кратное превышение фона. При расчетах Кс использовались следующие значения концентрации ТМ в дерново-подзолистых

почвах юго-запада Беларуси (субрегиональный фон), мг/кг: Pb – 5,59; Cd – 0,05; Cu – 1,27; Zn – 7,39; Mn – 107,32; Ni – 0,60; Co – 0,26; Cr – 1,88 [4].

В необходимых случаях для расчета Кс использовались данные по местному геохимическому фону элементов. Согласно [5], при значении Кс от 5 до 10 загрязнение считалось слабым, от 10,1 до 30 – умеренным, при значении более 30 – сильным.

Определялся также суммарный индекс загрязнения почв (SIZn) в виде суммы Кс исследованных элементов.

Результаты и их обсуждение

Геохимическое состояние почвенного покрова в зонах влияния исследуемых полигонов ТКО в целом не вызывает опасений.

Вместе с тем сравнительный анализ содержания ТМ в подстилках и почвах показывает, что в импактных зонах целого ряда полигонов на некоторых ПП фиксируются концентрации наиболее токсичных элементов (Pb, Cd, Zn, As – 1-й класс опасности), приближающиеся к уровням их ПДК в почвах для валовых форм и даже превышающие их.

Так, в зоне влияния полигона ТКО г. Пинска на юг-юго-восточной трансекте на двух ПП содержание As составило 0,98 мг/кг и 1,92 мг/кг почвы, или 0,5 и 0,96 ПДК соответственно.

На юго-западной трансекте в окрестностях полигона ТКО г. Кобрина на двух ПП концентрации Pb в почве составили 23,59 мг/кг (0,74 ПДК) и 16,54 мг/кг (0,5 ПДК), а Cd – 0,24 мг/кг и 0,25 мг/кг (0,5 ПДК).

В верхнем слое захороненной под телом данного полигона почвы (северо-восточная окраина полигона) усредненное содержание Zn достигло 90,79 мг/кг (1,65 ПДК), Cd – 0,30 мг/кг (0,6 ПДК), Cu – 16,43 мг/кг (0,5 ПДК), Pb – 13,91 мг/кг (0,44 ПДК).

В зоне влияния полигона ТКО г. Бреста в подавляющем большинстве случаев накопление металлов в пробах почв и подстилок укладывается в нормы ПДК.

Вместе с тем фиксируются отдельные случаи превышений опасных элементов в подстилках.

Так, в пределах ПП 14 и 15 южной трансекты (рисунок 1) содержание Cd в подстилке достигало 0,53 мг/кг или 1,1 ПДК, что в 5,9 раза выше субрегионального фона элемента для дерново-подзолистых песчаных почв (0,09 мг/кг). Концентрация Zn составила соответственно 42,85 мг/кг и 49,62 мг/кг (0,78–0,9 ПДК).

Графическое отображение геохимической ситуации на западной трансекте – наиболее обеспеченной ПП – в отношении приоритетных в санитарно-гигиеническом аспекте элементов (Cd, Pb и Zn) представлено на рисунке 2.

Показано, что содержание Cd в подстилках изменяется от 0,26 мг/кг до 0,44 мг/кг (0,52–0,88 ПДК) и в 2,9–4,9 раза превышает субрегиональный фон металла.

В слоях собственно почв накопление Cd, как правило, не выходит за пределы субрегионального фона; лишь в непосредственной близости от тела полигона (ПП 1) оно несколько превышает фоновую величину, достигая 0,11 мг/кг.

Заметное накопление Cd в подстилках на фоне его низких концентраций в слоях собственно почвы свидетельствует о преимущественно аэрогенном поступлении элемента в экосистему.

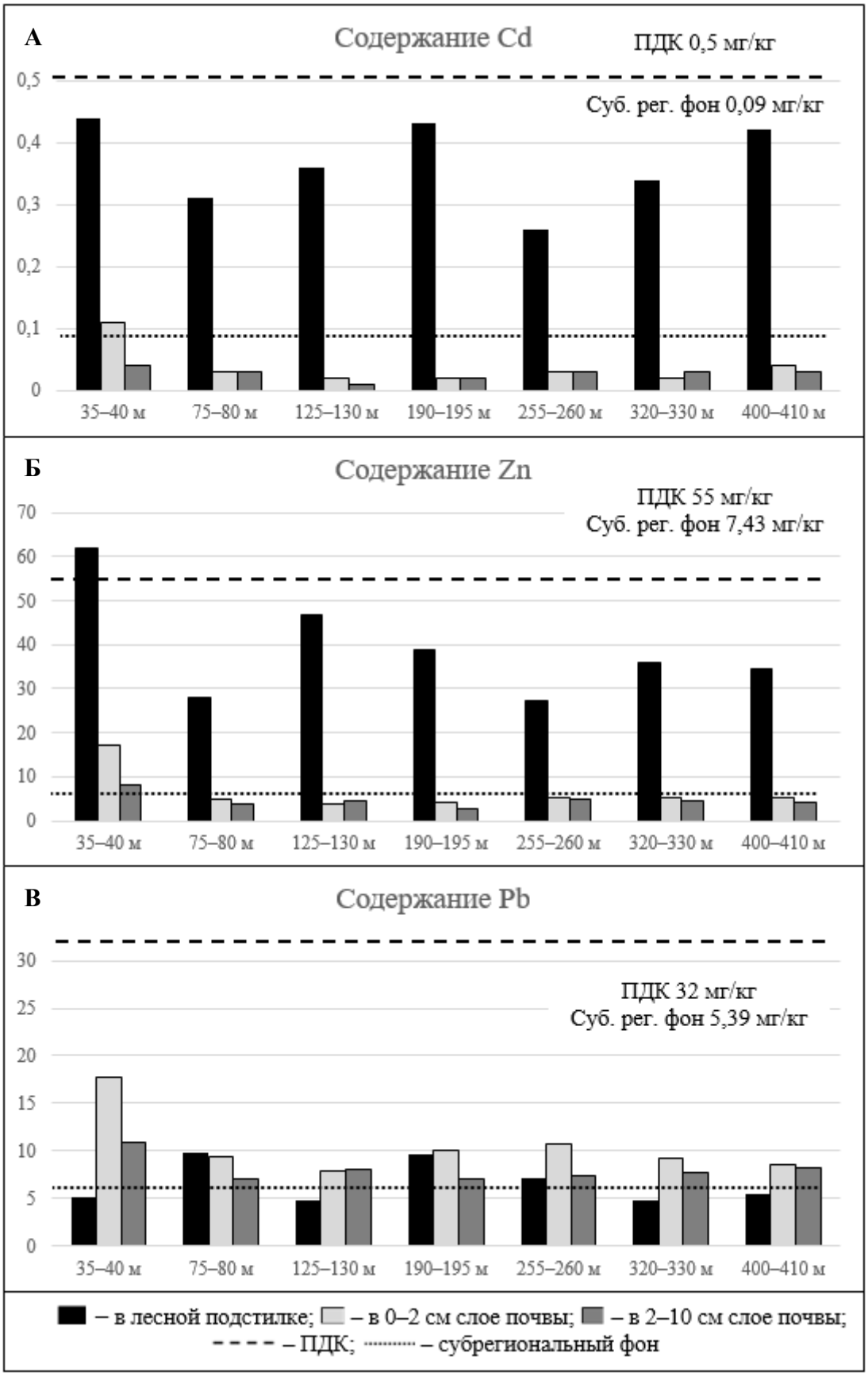

Рисунок 2 – Содержание кадмия (А), цинка (Б) и свинца (В) в подстилках и почвах в зоне влияния полигона ТКО г. Бреста (окрестности д. Струга, западная трансекта)

На упомянутой ПП 1 в подстилке зафиксировано превышение ПДК Zn – 61,95 мг/кг при допустимом уровне 55,0 мг/кг (1,13 ПДК). В слое 2–10 см концентрация элемента составила 17,27 мг/кг (0,31 ПДК, или 2,3 фоновых величины), а в горизонте A_1 – 7,97 мг/кг, что несколько выше субрегионального фона элемента (7,43 мг/кг). Во всех остальных рассматриваемых случаях превышений по Zn над контрольными значениями не обнаружено.

Некоторые специфические особенности поведения в рассматриваемых слоях почв характерны для свинца. В сравнении с ранее рассмотренными элементами – Cd и Zn – минимальные концентрации металла отмечаются в подстилках, что свидетельствует о незначительном аэрогенном перемещении элемента.

Максимальные уровни накопления Pb, как правило, наблюдаются в самом верхнем, наиболее гумусированном слое почв и варьируют от 7,87 мг/кг до 17,73 мг/кг (0,2–50,55 ПДК, или 1,46–3,29 фонового уровня). В десятисантиметровом слое почвы (горизонт A_1) концентрация элемента составляет 6,98–10,83 мг/кг, несколько превышая субрегиональный фон.

Почвенные образцы в локации полигона ТКО г. Барановичи отобраны в контурах двух контрастных типов земель: на пахотных угодьях (северо-восточная и юго-восточная трансекты; на каждой по пять ПП) и на землях лесного фонда в сосняках мшистых (юг-юго-западная и запад-юго-западная трансекты; на каждой по три ПП). Кроме того, пробы отобраны в пределах островного участка сосняка в 250 м севернее въезда на полигон.

Ввиду отсутствия данных по содержанию ТМ в почвах фоновых территорий Предполесской ландшафтной провинции для расчета Кс элементов в зоне влияния полигона ТКО г. Барановичи определялся их местный геохимический фон на основе данных по крайним ПП, т. е. наиболее удаленным от тела полигона.

Результаты исследований показывают, что в импактной зоне полигона существенного загрязнения ТМ пахотных почв не наблюдается – на большинстве ПП соответствующие показатели находятся в области значений, характерных местному геохимическому фону. Вместе с тем для ряда элементов (Pb, Ni, Cr, As) отмечается тенденция к увеличению содержания в почвах ПП обоих агроландшафтных трансект.

Так, концентрации Ni, Cr, As превышают фоновые значения на 7–14 %, а Pb – на 14–28 %. При этом в обоих случаях превышения фиксируются на некотором удалении от тела полигона, начиная со второй ПП и включая две последующие. Безусловно, регулярная вспашка с перемешиванием слоев почв до глубины около 20 см приводит к их гомогенизации и нивелированию общей картины загрязнения. В наиболее отчетливом виде она проявляется в пределах лесных трансект с относительно не нарушенным почвенным покровом, особенно на запад-юго-западном градиенте, примерно совпадающем с направлением тока грунтовых вод через тело полигона.

Общей закономерностью здесь является довольно значимое накопление Pb, Cr и As в верхнем почвенном горизонте, особенно в поверхностном 0–2 см слое. Так, содержание Pb на ближней к полигону ПП достигает 23,55 мг/кг (Кс = 2,53), что существенно превышает порог аномальности (Кс > 1,5). Распределение Pb в латеральном измерении (по трансекте) в обоих рассматриваемых слоях имеет выраженный градиентный характер, что не оставляет сомнений в источнике загрязнений. При этом на двух ближних к полигону ПП оно является константно аномальным в обоих исследуемых слоях, а на крайней ПП – лишь в слое 0–2 см (16,88 мг/кг, Кс = 1,8).

Накопление Cr и As является менее контрастным: для Cr максимальное значение Кс = 1,30 отмечается в слое 0–2 см на второй от полигона ПП. Аномальность содержания As зафиксирована лишь на третьей ПП: Кс=1,52 (2,58 мг/кг).

Характерно, однако, что в границах данной трансекты, а также на островном участке сосняка концентрация As константно превышает уровень ПДК элемента в почвах (2,0 мг/кг).

Показатель ПДК превышен также и на большей части юг-юго-западной трансекты – на второй и 3-й ПП, где содержание элемента составляет от 2,01 до 2,26 мг/кг. Все это свидетельствует о формировании в зоне влияния полигона ТКО г. Барановичи техногеохимической аномалии мышьяка. Учитывая, что его концентрации в почвах земель сельскохозяйственного назначения также приближаются к уровню ПДК, достигая на отдельных ПП уровня 1,89–1,94 мг/кг, должны планироваться мероприятия по предотвращению соответствующих рисков. В их перечне ведущая роль может принадлежать сооружению техногенных геохимических барьеров на наиболее проблемных сегментах периметра тела полигона.

Полиэлементное загрязнение свойственно также подстилкам сосняков: наиболее высокие показатели фиксируются на запад-юго-западной трансекте и имеют ярко выраженный градиентный характер. Учитывая, что слой подстилок сформирован опадом хвои сосны, которая согласно [6] обладает высокой способностью к сорбции загрязняющих веществ, переносимых воздушным путем, логично предположить, что в локации преобладает аэрогенный трек переноса в подстилки перечисленных элементов.

Отсутствие в значимых концентрациях в подстилках элементов, идентифицированных нами в качестве приоритетных загрязнителей почв – Pb, Ni, Cr, As, может свидетельствовать о существенной роли гидрогенного (от грунтовых вод) пути их поступления в почву.

Почвенно-геохимические исследования в импактной зоне полигона ТКО г. Береза (окрестности д. Речица) проведены в 2-х локалитетах: в сосняке ландышево-мшистом правее административного здания полигона и в сосняке мшистом севернее северного угла ограды полигона. В границах первого локалитета по большинству элементов не зафиксировано существенного превышения их содержания в почвах в сравнении с фоновыми показателями. Вместе с тем здесь выявлена довольно контрастная геохимическая аномалия по свинцу, особенно в верхнем 0–2 см слое. При этом она характерна для обеих ПП с расстоянием между ними в 30 м, что исключает случайный точечный характер загрязнения. Содержание Pb на 1-й ПП составляет 14,71 мг/кг (Кс по местному фону = 6,5), на 2-й – в 1,6 раза выше: 23,67 мг/кг (Кс = 10,5). В слое 2–10 см концентрация элемента существенно снижается и составляет соответственно 8,57 мг/кг (Кс = 3,8) и 9,11 мг/кг (Кс = 4,0). Несколько повышенными в сравнении с фоном являются концентрации Cd и Zn в поверхностном 0–2 см слое почв, особенно в подстилке, где содержание элементов достигает 0,42 мг/кг и 57,49 мг/кг соответственно (при фоновых значениях 0,12 мг/кг и 28,56 мг/кг).

Возникновение этой аномалии, на наш взгляд, не связано с аэрогенным поступлением элемента в почву – содержание, к примеру, Pb в коре сосны (чувствительный индикатор аэрогенного загрязнения среды) здесь ниже фоновой концентрации (2,42 мг/кг) и в среднем составляет 1,37 мг/кг. Исключен и гидрогенный привнос элемента – площадки расположены на гипсометрически наиболее высоких уровнях с весьма низким стоянием грунтовых вод (на глубине до 11 м), ток которых ориентирован в сторону полигона. Расположение рассматриваемых ПП в непосредственной близости от административно-бытовых и хозяйственных построек, стоянок и мест ремонта техники позволяет предположить и соответствующий генезис геохимических аномалий Pb, Cd и Zn в данном локалитете.

Гораздо более серьезной выглядит почвенно-геохимическая ситуация в 15–18-летнем сосняке в 30-и м от северного выступа (угла) полигона (ПП-3). Здесь обнаружена никель-ванадиевая геохимическая аномалия; ее контрастность особенно высока в слое подстилок,

где содержание Ni достигает 322,4 мг/кг (Кс = 190,8), V – 91,3 мг/кг (Кс = 30,0), что соответствует сильному загрязнению. Характерно также, что в отношении данных ТМ и большинства других элементов-загрязнителей наблюдается отчетливый градиент в их радиальном распределении. Так, содержание Ni в 0–2 см слое почвы уменьшается в 2,6 раза – до 123,2 мг/кг, а в 2–10 см – до 32,01 мг/кг, т. е. еще в 3,9 раза. Примерно такие же соотношения величин в радиальном уменьшении концентраций свойственны и ванадию – снижение в 2,6 раза (с 91,3 до 35,3 мг/кг) и в 3,4 раза (с 35,3 до 10,5 мг/кг) соответственно.

Аномальность содержания в подстилке и 0–2 см слое почв свойственна также Cr (Кс = 8,0 и 2,3), Co (Кс = 5,9 и 2,6), Fe (Кс = 5,2 и 2,0), Zn (Кс = 2,0 и 4,1). Вместе с тем, существенного накопления перечисленных элементов, особенно Ni и V, в коре сосны на данной ПП не выявлено, что исключает аэрогенный путь их поступления в подстилки и почву. Резкое уменьшение их концентраций с глубиной свидетельствует об отсутствии и гидрогенного (от загрязненных грунтовых вод) их привноса. Учитывая, что столь сильное загрязнение обнаружено лишь на ближней к телу полигона ПП, расположенной примерно в 50 м от канавы и колодца для сбора фильтрата, а на остальных ПП (четвертой и пятой), удаленных от края полигона на 90 и 120 м соответственно, геохимические показатели соответствуют фону, логично предположить, что генезис выявленной аномалии связан с поверхностным током сильно загрязненной жидкости, т. е. фильтрата. Наиболее вероятный сценарий – его поступление в контур ПП-3 из переполненной канавы (колодца) для сбора фильтрата в сильно дождливый период весны текущего года. Переливы фильтрата из переполненных канав отмечались и на других полигонах, например, на полигоне ТКО г. Пинска (д. Вулька-Городищенская), что актуализирует проблему совершенствования существующей системы сбора фильтрата и обращения с ним.

Своего выяснения требует и никель-ванадиевая специфика выявленной аномалии. Из литературных источников известно, что высокие концентрации соединений V и Ni обнаруживаются в твердых продуктах сжигания мазутов на ТЭЦ и ГРЭС [7]. Поэтому источник V и Ni, вероятнее всего, связан с функционированием Березовской ГРЭС. Ранее проведенные исследования в ее ареале подтверждают данное предположение: геохимия почвогрунтов в запад-юго-западном секторе санитарно-защитной зоны станции имеет ванадий-никелевую специализацию с существенным превышением фона также по Cr, Co, Fe, Zn и As. В этой связи имеются веские основания предполагать, что в качестве одного из компонентов противофильтрационного экрана при обустройстве полигона г. Березы использованы материалы, содержащие твердые продукты сжигания мазута. Не исключается также поступление на захоронение Ni–V-содержащих отходов местных промышленных предприятий.

В импактной зоне полигона ТКО г. Лунинца на восток-северо-восточной трансекте в ближнем к полигону радиусе (до 50 м) отмечается тенденция к накоплению некоторых элементов 1-го класса опасности в поверхностном 0–2 см слое почв. Так, содержание Zn на ближайшей к телу полигона ПП достигает 57,72 мг/кг, что выше показателя ПДК элемента (55,0 мг/кг). В контуре 2-й ПП этой трансекты концентрация Pb превысила порог аномальности и составила 10,62 мг/кг (Кс = 1,9). В рассматриваемом секторе в ближней к полигону зоне отмечается также заметное повышение содержания Pb в коре сосны – 3,07 мг/кг, что заметно выше фонового уровня. Учитывая, что рассматриваемый участок находится на оси преобладающих в локации ветров, а лесной пояс здесь отличается максимальной захламленностью мусором, сносимым с поверхности эксплуатируемых карт, генезис выявленных загрязнений однозначно связан с аэрогенным переносом поллютантов.

Обобщенная геохимическая специфика почв в зонах влияния исследуемых полигонов приведена в таблице.

Таблица – Обобщенные показатели загрязнения почв в зонах влияния полигонов ТКО Брестской области

Полигон / показатель		Pb	Cd	Cu	Zn	Mn	Ni	Co	Cr	SIZп	среднее
Пинск	1[1]	3,49	0,04	1,64	9,69	79,15	1,04	0,52	3,44		
	2[2]	0,65	0,44	1,27	1,30	0,72	1,58	1,16	**1,83**	8,95	1,12
Барано-вичи	1	8,11	0,04	3,43	16,44	186,2	4,81	2,08	11,45		
	2	0,87	1,33	**1,51**	1,02	1,01	1,08	1,11	0,97	8,90	1,11
Брест	1	9,12	0,03	1,10	8,58	40,63	1,40	0,49	3,76		
	2	1,69	0,34	0,85	1,15	0,37	**2,12**	1,09	2,00	9,61	1,20
Кобрин	1	5,84	0,11	1,90	10,41	24,84	1,47	0,53	3,59		
	2	1,08	1,25	1,47	1,40	0,23	**2,23**	1,17	1,91	10,74	1,34
Береза	1	2,31	0,00	1,06	9,57	21,61	2,12	0,88	8,71		
	2	0,43	0,00	0,82	1,29	0,20	3,21	1,96	**4,63**	12,54	1,57
Лунинец	1	7,47	0,04	1,96	19,37	81,86	2,45	0,83	5,00		
	2	1,39	0,44	1,52	2,61	0,75	**3,71**	1,83	2,66	14,91	1,86
СФ-1[3]	–	5,39	0,09	1,29	7,43	109,6	0,66	0,45	1,88	–	–
СФ-2[4]	–	9,29	0,03	2,28	7,43	184,7	4,47	1,87	11,85	–	–

Примечание – [1] – средняя концентрация загрязнителя в почве, мг/кг; [2] – превышение по отношению к субрегиональному фону, Кс; [3] – субрегиональный фон (для полигонов ТКО городов Брест, Береза, Пинск, Лунинец, Кобрин); [4] – местный фон для полигона ТКО г. Барановичи; полужирным шрифтом выделены максимальные значения Кс для каждого полигона.

Наиболее высокий суммарный индекс загрязнения почв характерен для зоны воздействия полигона ТКО г. Лунинца (SIZп = 14,91); в импактных зонах полигонов ТКО городов Пинска и Барановичи этот показатель в 1,7 раза ниже – SIZп около 8,9).

Ряд приоритетности загрязнения почв в зонах воздействия полигонов ТКО ТМ и микроэлементами имеет следующий вид:

$$\underset{8,9}{\underline{\text{Пинск, Барановичи}}} < \underset{9,61}{\underline{\text{Брест}}} < \underset{10,74}{\underline{\text{Кобрин}}} < \underset{12,54}{\underline{\text{Береза}}} < \underset{14,91}{\underline{\text{Лунинец}}}$$

Сравнительный анализ геохимических рядов накапливаемых элементов позволяет сделать вывод о том, что почвам в зонах влияния большинства полигонов ТКО характерна никель-хромовая специализация.

Заключение

Таким образом, установлено, что в большинстве случаев накопление ТМ в пробах почв и подстилок, отобранных в окрестностях исследованных полигонов ТКО, укладывается в нормы ПДК. Вместе с тем фиксируются отдельные случаи превышений установленных санитарно-гигиенических норм опасных элементов в подстилках, а также в некоторых пробах почв импактных зон полигонов ТКО; примерно в 30 % рассмотренных случаев зафиксированы превышения фоновых концентраций элементов. Почвы в зонах влияния большинства рассматриваемых полигонов ТКО отличаются никель-хромовой специализацией. В окрестностях полигона ТКО г. Барановичи установлено формирование техногеохимической аномалии мышьяка, в ближнем к полигону ТКО г. Березы радиусе (северный сектор) выявлена контрастная никель-ванадиевая геохимическая аномалия. Наиболее высокий суммарный индекс загрязнения почв характерен для зон воздействия полигонов ТКО городов Лунинец и Береза.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Экологические аспекты захоронения твердых коммунальных отходов на полигонах / Д. М. Ерошина [и др.] // Минск : БелНИЦ «Экология», 2010. – 152 с.

2. Сает, Ю. Е. Геохимические принципы выявления зон воздействия промышленных выбросов в городских агломерациях / Ю. Е. Сает, Р. С. Смирнова // Вопр. географии. – 1983. – № 120. – С. 45–55.

3. Ильин, В. Б. Оценка буферности почв по отношению к тяжелым металлам / В. Б. Ильин // Агрохимия. – 1995. – № 10. – С. 109–113.

4. Михальчук, Н. В. Фоновое содержание тяжелых металлов и микроэлементов в почвах и растительности юго-запада Беларуси как основа для сравнительных оценок при производстве органической продукции на основе принципов зеленой экономики / Н. В. Михальчук, А. Н. Мялик // Эколого-географические проблемы перехода к зеленой экономике / редкол.: В. С. Хомич (гл. ред.), В. Ф. Логинов, Е. В. Санец. – Минск : СтройМедиаПроект, 2019. – С. 266–281.

5. Добровольский, Г. В. Ландшафтно-геохимические критерии оценки загрязнения почвенного покрова тяжелыми металлами / Г. В. Добровольский // Почвоведение. – 1999. – № 5. – С. 639–645.

6. Elemental analyses of pine bark and wood in an environmental study / K.-E. Saarela [et al.] // Sci. Tot. Environ. – 2005. – Vol. 343, nr 13. – P. 231–241.

7. Гринь, С. А. Влияние на литосферу ванадий-содержащих отходов энергетических установок / С. А. Гринь, П. В. Кузнецов // Вост.-Европ. журн. передовых технологий. – 2009. – № 1/4 (37). – С. 44–47.

REFERENCES

1. Ekologichieskije aspiekty zakhoronienija tviordykh kommunal’nykh otkhodov na poligonakh / D. M. Jeroshina [i dr.] // Minsk : BielNIC «Ekologija», 2010. – 152 s.

2. Sajet, Yu. Ye. Gieokhimichieskije principy vyjavlieniya zon vozdiejstvija promyshliennykh vybrosov v gorodskikh aglomieracijakh / Yu. Ye. Sajet, R. S. Smirnova // Vopr. gieografii. – 1983. – № 120. – S. 45–55.

3. Il’in, V. B. Ocenka bufiernosti pochv po otnosheniju k tiazholym mietallam / V. B. Il’in // Agrokhimija. – 1995. – № 10. – S. 109–113.

4. Mikhal’chuk, N. V. Fonovoje sodierzhanije tiazholykh mietallov i mikroeliemientov v pochvakh i rastitiel’nosti jugo-zapada Bielarusi kak osnova dlia sravnitiel’nykh ocenok pri proizvodstvie organichieskoj produkcii na osnovie principov zielionoj ekonomiki / N. V. Mikhal’chuk, A. N. Mialik // Ekologo-gieografichieskije probliemy pieriekhoda k zielionoj ekonomikie / riedkol.: V. S. Khomich (gl. ried.), V. F. Loginov, Ye. V. Saniec. – Minsk : StrojMiediaProjekt, 2019. – S. 266–281.

5. Dobrovol’skij, G. V. Landshaftno-gieokhimichieskije kriterii ocenki zagriaznienija pochviennogo pokrova tiazholymi mietallami / G. V. Dobrovol’skij // Pochvoviedienije. – 1999. – № 5. – S. 639–645.

6. Elemental analyses of pine bark and wood in an environmental study / K.-E. Saarela [et al.] // Sci. Tot. Environ. – 2005. – Vol. 343, nr 13. – P. 231–241.

7. Grin’, S. A. Vlijanije na litosfieru vanadij-sodierzhashchikh otkhodov energietichieskikh ustanovok / S. A. Grin’, P. V. Kuzniecov // Vost.-Jevrop. zhurn. pieriedovykh tiekhnologij. – 2009. – № 1/4 (37). – S. 44–47.

Рукапіс паступіў у рэдакцыю 04.10.2023