

5. Перечень предельно допустимых концентраций (ПДК) и ориентировочно допустимых концентраций (ОДК) химических веществ в почве. Гигиенические нормативы 2.1.7.12-1-2004. Минск, 2004.

6. Хомич В. С., Какарека С. В., Кухарчик Т. И. Экогеохимия городских ландшафтов Беларуси. Минск: Минсктиппроект, 2004. 260 с.

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

8. Карпиченко А. А. Геохимическая структура основных родов ландшафтов Беларуси // Вестн. БГУ. Сер. 2, Химия. Биология. География. 2010. № 2. С. 83–86.

9. Марцинкевич Г. И., Счастливая И. И., Чертко Н. К. и др. Урболандшафты г. Пинска: классификация, эколого-геохимическая оценка, способы оптимизации // Вестн. БГУ. Сер. 2, Химия. Биология. География. 2015. № 3. С. 70–75.

10. Карпиченко А. А., Чертко Н. К., Семенюк А. С. Геохимическая оценка почв и растительности г. Молодечно // Журн. Белорус. гос. ун-та. География. Геология. 2018. № 1. С. 21–29.

11. Карпиченко А. А., Чертко Н. К. Особенности накопления титана, марганца и хрома в поверхностных горизонтах почв г. Жодино (Беларусь) // Геохимия ландшафтов (к 100-летию А. И. Перельмана): Докл. Всеросс. науч. конф., Москва, 18–20 окт. 2016 г. М.: Геогр. факультет МГУ, 2016. С. 247–250.

12. Лукашёв В. К., Окунь Л. В. Загрязнение тяжёлыми металлами окружающей среды г. Минска. Минск: Ин-т геал. наук АН Беларуси, 1996. 80 с.

УДК 574:550.47

ПРОБЛЕМЫ ОБРАЩЕНИЯ С ТЕХНОГЕННО ЗАГРЯЗНЁННЫМИ ГОРОДСКИМИ ПОЧВАМИ

В. С. Хомич¹, С. В. Савченко¹, В. А. Рыжиков¹, Е. М. Глушень²,
Ю. А. Романкевич¹, Р. М. Зайнь Эль-Динь¹

¹Институт природопользования НАН Беларуси,
ул. Ф. Скорины 10, 220114 Минск, Республика Беларусь; svscience@rambler.ru

²Институт микробиологии НАН Беларуси,
ул. Купревича 2, 220141 Минск, Республика Беларусь

В последние годы проблемы экологически безопасного использования техногенно загрязнённых городских земель приобретают всё большее значение во многих развитых странах, в том числе и в Беларуси. Это связано, с одной стороны, с накоплением данных об ухудшении состояния почв в городах, их загрязнении и деградации, с другой – необходимостью градостроительного освоения загрязнённых территорий. Последнее наиболее часто возникает при размещении объектов нового строительства. При этом проблема, например, при строительстве жилых зданий, возникает как при их размещении в пределах жилых, так и общественных, и промышленных зон. В г. Минске в любой из этих зон доля загрязнённых территорий превышает 50 % [9].

Уровни загрязнения почв в городах. Состояние городских почв ежегодно оценивается по результатам мониторинга земель, проводимого в рамках Национальной системы мониторинга окружающей среды в Республике Беларусь (НСМОС). По данным мониторинга, среднее за 2000–2016 гг. содержание Cd в почвах городов Беларуси составило 0,39 мг/кг (в 1,1 раза выше фона или 0,7 ОДК), Zn – 37,3 (1,9 или

0,7 ОДК), Pb – 12,7 (1,5 или 0,4 ПДК), Cu – 7,8 (1,6 или 0,2 ОДК), Ni – 5,5 (1,1 или 0,3 ОДК), Cr – 5,4 (1,3 или 0,1 ПДК), Mn – 181 (0,9 или 0,1 ПДК), нефтепродуктов (далее НП) – 69,0 мг/кг (в 2,0 раза выше фона или 0,7 ПДК).

Среднее содержание всех рассматриваемых загрязняющих веществ ниже гигиенических нормативов, однако величины некоторых из них (Cd, Zn и НП) близки к предельно допустимым (0,7 ПДК (ОДК)).

В то же время уровни загрязнения почв городов характеризуются высокой контрастностью, о чём свидетельствуют максимальные выявленные концентрации загрязняющих веществ в городах Беларуси за рассматриваемый период по данным НСМОС: для Cd – в 6,1 раза выше фона или 4,5 ОДК, Zn – 75,1 или 26,7 ОДК, Pb – 32,0 или 8,2 ПДК, Cu – 21,4 или 3,2 ПДК, Ni – 10,4 или 2,5 ОДК, НП – в 407 раз выше фона или 140,4 ПДК.

В почвах г. Минска среднее содержание загрязняющих веществ несколько выше, чем в среднем для городов Беларуси: Cd – 0,19 мг/кг, Zn – 57,1, Pb – 20,4, Cu – 17,1, Ni – 6,3, НП – 133,7 мг/кг. При этом средние концентрации Zn и НП в почвах Минска выше гигиенических нормативов в 1,1 и 1,3 раза соответственно. Следует отметить, что загрязнение почв НП выше допустимого уровня фиксируется более чем в половине проб, отобранных на территории Минска (55,6 %). Превышение допустимых концентраций Zn отмечается в 38,1 % проб, Pb – в 19,8 %.

Пространственная структура загрязнения почв на территории городов характеризуется значительной неоднородностью. Согласно [9], наиболее часто превышаются нормативы по Cd – в 32–34 % случаев в почвах жилой и ландшафтно-рекреационной зон, в 48 – общественной, в 54 % – производственной зоны. Достаточно высок удельный вес проб с превышением ОДК по Zn, при этом в 33 % случаев превышаются нормативы в почвах жилой зоны, 23 % – общественной и производственной. Наибольшая доля проб с концентрациями Pb, превышающими ПДК элемента, характерна для жилой, рекреационной и производственной зон – 15–18 %. Наибольшее количество проб с превышением ОДК по Cu и Ni приходится на производственную зону – 14 и 12 % и общественную зону – 15 и 11 %, соответственно. На высокие уровни загрязнения почв НП в транспортной и промышленной зонах городов указывает также О. В. Лукашѐв с соавторами [5].

Исследования, выполненные в 2017–2018 гг. в различных районах Минска показали, что проблема загрязнения почв в различных функциональных зонах города сохраняется.

На участках старой индивидуальной застройки, запланированных к сносу, в верхнем горизонте почв отмечается избыточное накопление Cu, Zn, Pb, Cd и НП. Среднее и максимальное содержание Cu достигает 1,1 и 3,0 ОДК, Zn – 4,6 и 11,3 ОДК, Pb – 1,2 и 2,5 ПДК, соответственно, что свидетельствует о низкой и средней степени загрязнения почв. На большей части территории отмечается загрязнение почв Cd, при этом максимальная концентрация элемента превысила гигиенический норматив в несколько десятков раз. Среднее содержание НП в 20-см слое почв незначительно превышает допустимую норму и составляет 106,5 мг/кг, варьируя от 27,8 до 329,2 мг/кг.

На территории одной из исследованных транспортно-складских зон основным загрязняющим почвы веществом являются НП, повышенные концентрации которых отмечаются до глубины 50 см. В слое 0–20 см среднее содержание НП составляет 8,4 ПДК, в нижележащем слое – 4,3 ПДК. Среднее содержание Zn в верхнем слое почвы в 2,9 раз выше ОДК, максимальное – в 10,9 раз, аналогичные показатели по

Pb составили 1,5 и 3,4 ПДК соответственно. В нижележащем слое 20–50 см наблюдается низкая и средняя степень загрязнения почв Zn, на отдельных участках – Pb. Концентрация Cd на отдельных участках в 2,4–2,7 раз выше ОДК.

Почвы промплощадок по содержанию в них химических веществ характеризуются различными уровнями загрязнения в зависимости от специфики производств и продолжительности воздействий. Среднее содержание НП на промплощадке машиностроительного предприятия в слое 0–20 см составляет 3 602,9 мг/кг, что в 7,2 раза выше ПДК (500 мг/кг), а максимальное 68 830 мг/кг (137 ПДК). Наиболее загрязнённые почвы приурочены к местам подземного хранения горючесмазочных материалов. Разнообразие источников загрязнения обусловило мозаичную структуру загрязнения почв большинством тяжёлых металлов. Наиболее загрязнены почвы Cd – от 0,89 до 63,3 мг/кг (1,7–126,7 ОДК), Zn – от 55,2 до 850,0 мг/кг (1,1–15,6 ОДК), Pb – от 54,4 до 202,5 мг/кг (1,4–5,1 ПДК), Cu – от 36,2 до 316,9 мг/кг (1,1–9,6 ОДК), Ni – от 21,8 до 1 705,9 мг/кг (1,1–85,3 ОДК) и Cr – от 121,4 до 514,3 мг/кг (1,2–5,1 ПДК). Глубина загрязнения почв тяжёлыми металлами, как и НП, различная, в отдельных случаях до 150 см.

Приведённые данные о загрязнении почв на городских территориях свидетельствуют о необходимости принятия обоснованных решений по обращению с загрязнёнными землями (почвами) с целью снижения экологических рисков для населения и экосистем.

Обращение с загрязнёнными землями (почвами) предполагает следующий алгоритм действий: сбор информации об объекте исследований; проведение полевых исследований; определение фонового содержания химических веществ в почвах; оценка степени/уровня загрязнения земель; выбор метода очистки (обезвреживания) и обращения с загрязнёнными землями; рекультивация земель; рекомендации по использованию очищенных земель (при необходимости).

Сбор информации об объекте исследований. Источниками информации о загрязнении земель в городах Беларуси являются данные НСМОС по химическому загрязнению земель, включая локальный мониторинг земель, результаты научных эколого-геохимических исследований на региональном или локальном уровнях, данные, полученные в результате контроля химического загрязнения земель, исследования, проводимые при разработке ТЕРКСООС, оценке земель при градостроительном освоении территории и другие источники. Определённая проблема в использовании различных источников информации заключается в разрозненности имеющихся данных (разные подходы к схемам и глубинам отбора проб почв, определяемым в почвах показателям, критериям оценки, различные методы химико-аналитических исследований) и, как следствие, сложности в сопоставлении и обобщении информации. Базы данных по загрязнённым землям составляются только при ведении мониторинга НСМОС, остальная информация не систематизирована. Единая база данных по загрязнённым землям в масштабе страны также отсутствует.

Проведение полевых исследований. Методика изучения почв в городах разрабатывается, исходя из целей и задач исследований, и основывается на нормативно-методических документах, действующих на момент обследования.

Первый этап натурных (полевых) исследований предусматривает рекогносцировочное обследование территории, уточнение расположения объекта, функционального использования и ландшафтно-геохимических особенностей, выявление возможных источников загрязнения земель. На этом же этапе выбирается схема отбора проб почв, намечаются пробные площадки для отбора проб земель (почв), со-

ставляется предварительная схема местоположения пробных площадок и точек отбора. Выбор схемы отбора, площади и местоположения пробных площадок и точек отбора проб почв зависит от целей и задач исследований.

На втором этапе на пробных площадках проводится описание и опробование почв. Как правило, отбор производится из верхнего слоя почвы методом конверта с отбором 5 точечных проб, из которых путем перемешивания и квартования формируется объединенная проба.

Глубина отбора в зависимости от решаемых задач и используемых в качестве основы нормативных документов может несколько различаться, что в ряде случаев делает сопоставление данных, полученных из различных информационных источников, не совсем корректным. При мониторинге земель глубина отбора составляет 0–20 см [3, 9]. При контроле загрязнения интервалы глубин составляют 0–20 см, 20–50, 50–100 см и далее по профилю через каждые 50 см при условии наличия загрязнения [7]. В то же время, согласно [1], отбор проб производится послойно с глубины 0–5 и 5–20 см.

Учитывая, что наибольший риск для городского населения в связи с загрязнением почв обусловлен реэмиграцией загрязняющих веществ с поверхности почвы, представляется целесообразным при мониторинге городских почв и локальном мониторинге опробование производить дифференцированно с глубин 0–5 и 5–20 см.

Определение фона. В качестве фона для оценки состояния городских земель чаще всего используются результаты наблюдений за химическим загрязнением почв НСМОС. Это могут быть данные о состоянии почв на фоновых территориях (средние значения, рассчитанные за многолетний период или данные последнего тура наблюдений, полученные для всей территории Беларуси или административной области) или непосредственно на территории города (для городов, в которых проводятся наблюдения за химическим загрязнением почв).

Также в качестве фона, в частности, при научных эколого-геохимических исследованиях, могут использоваться данные о состоянии почв особо охраняемых природных территорий [4], прилегающих к населённому пункту (периферийных) территорий [8], ландшафты-аналоги [6]. Преимущество данных подходов заключается в большем охвате разнообразных ландшафтно-геохимических условий по сравнению с данными, получаемыми при мониторинге в рамках НСМОС.

Оценка степени/уровня загрязнения земель (почв). В качестве критерия при оценке степени/уровня загрязнения городских почв используются фоновые значения, т. е. отклонения от природного фона. Для оценки опасности загрязнённых почв зафиксированные концентрации химических веществ сопоставляются с санитарно-гигиеническими нормативами – предельно-допустимыми концентрациями (ПДК) или ориентировочно допустимыми концентрациями (ОДК) загрязняющих веществ в землях (почвах).

При разработке гигиенических нормативов для ряда химических веществ используется принцип деления городской территории по её функциональному назначению, в соответствии с которым установлены ПДК для валового содержания Pb, As и Hg.

Для НП ПДК установлены по категориям земель, при этом для населённых пунктов норматив составляет 100 мг/кг, промышленности и транспорта – 500 мг/кг. Для Cd, Zn, Cu и Ni используются ОДК с учётом гранулометрического состава и кислотности почв. Для других веществ гигиенические нормативы единые вне зависимости от свойств почв и функционального использования земель.

При полиэлементном загрязнении земель (почв) традиционно используется формула для расчёта суммарного коэффициента (показателя) загрязнения (Z_c) [2, 6, 8 и др.]. В классическом варианте данная формула имеет вид: $Z_c = \sum K_c - (n - 1)$, где n – число учитываемых аномальных элементов, K_c – коэффициент концентрации (отношение фактического содержания химического вещества в почве исследуемого участка к его фоновому значению). Согласно [2], для оценки загрязнения почв K_c рассчитывается по отношению к ПДК(ОДК) химических веществ в почве. Классификация земель на основе Z_c дается по категориям в зависимости от степени опасности загрязнения почв: допустимое ($Z_c < 16$), умеренно опасное ($Z_c = 16-32$), опасное ($Z_c = 32-128$), чрезвычайно опасное ($Z_c > 128$).

Согласно [7], оценка степени загрязнения земель проводится по четырем степеням деградации: низкая – от более 1,0 до 5,0 ПДК (Z_c), средняя – от более 5,0 до 20,0 ПДК (Z_c), высокая – от более 20,0 до 50,0 ПДК (Z_c), очень высокая – более 50 ПДК (Z_c). При отсутствии санитарно-гигиенического норматива используются 2 фоновые величины.

Выбор метода очистки (обезвреживания) и обращения с загрязнёнными почвами. К настоящему времени разработано достаточно много технологий, позволяющих очищать почвы от тяжёлых металлов, радионуклидов, органических загрязнителей. Очистка загрязнённых почв осуществляется на месте (*in situ*) без извлечения грунта либо вне загрязнённого участка (*ex situ*) с предварительной экскавацией загрязнённого грунта.

Выбор наиболее приемлемой технологии очистки загрязнённых территорий определяется совокупностью факторов – уровнем загрязнения, свойствами загрязняющих веществ, характером использования территории, физическими и химическими свойствами почв, доступностью технологии, её экологичностью, срочностью и стоимостью выполнения работ и др.

Для городов с высокой долей нефтезагрязнённых почв при жестких гигиенических нормативах содержания вещества в почвах различных функциональных зон весьма актуальна задача очистки почв от НП, особенно в связи с размещением объектов нового строительства.

В мировой практике для очистки почв, загрязнённых НП, чаще всего используются следующие виды очистки: микробиологические технологии с использованием штаммов почвенных микроорганизмов (биоремедиация); низкотемпературная термическая десорбция (при температуре 300–450 °С); фиторемедиация (с использованием растений); физико-химические методы очистки (просеивание, промывка).

Для очистки загрязнённых почв с концентрацией НП от 100 до 5 000 мг/кг наиболее оптимален с учётом эффективности очистки, затрат на очистку и продолжительности очистки метод биоремедиации с использованием почвенных микроорганизмов. Для загрязнённых земель (почв) предлагается метод очистки за счёт обогащения почвы гуминовыми кислотами торфа и органическим веществом биомассы микроорганизмов-деструкторов, разработанный Институтом микробиологии НАН Беларуси и Институтом природопользования НАН Беларуси. В качестве рабочего препарата используется биосорбционный препарат Родобел-ТН, разработанный и испытанный Институтом микробиологии НАН Беларуси.

Экологическая безопасность технологии рекультивации почв основана на полной деструкции нефти углеводородокисляющими микроорганизмами, входящими в состав препарата, не приводящей к накоплению токсичных промежуточных продуктов метаболизма в очищаемой почве.

Рекультивация земель чаще всего осуществляется в 2 этапа: технический и биологический. В случае нефтезагрязнённых почв на первом этапе работ осуществляется подготовка почвы: рыхление при очистке без изъятия; изъятие загрязнённых почвогрунтов, транспортировка к месту очистки, выравнивание слоем 30–40 см, рыхление. На втором (биологическом) этапе вносится микробный препарат Родобел-ТН, а также минеральные удобрения, производится вспашка и культивация загрязнённого слоя, поддерживается водный и воздушный баланс, контролируется содержание НП и тяжёлых металлов в очищенных почвах.

Преимущества предлагаемого метода очистки: безвредность для окружающей среды, поскольку технология основана на естественных процессах самовосстановления и самоочищения природной среды; высокая эффективность очистки; безотходность.

Рекомендации по использованию очищенных земель разрабатываются с учётом существующего и перспективного использования земель, а также остаточного содержания загрязняющих веществ в подверженной очистке почве. При этом должна учитываться опасность распространения остаточных количеств загрязняющих веществ с поверхностным стоком, реэмиграцией, поступления в подземные воды, накопления в растительности. Для предотвращения распространения загрязняющих веществ необходима разработка рекомендаций по снижению подвижности загрязняющих веществ в почве.

Библиографические ссылки

1. ГОСТ 17.4.4.02-2017 Охрана природы. Почвы. Методы отбора и подготовки проб для химического, бактериологического, гельминтологического анализа
2. Инструкция 2.1.7.11-12-5-2004. Гигиеническая оценка почвы населённых мест / Утв. Постановлением Главного государственного санитарного врача Республики Беларусь 03.03.2004 № 32.
3. Инструкция о порядке проведения наблюдений за химическим загрязнением земель / Утв. Приказом Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь 30.07.2015 № 250-ОД.
4. Лукашён О. В., Жуковская Н. °В., Лукашён Н. °Г., Савченко С. °В. Фоновое содержание химических элементов в почвах и растительности особо охраняемых природных территорий Белорусского Поозерья // Природопользование. 2009. № 16. С. 57–63.
5. Лукашён О. В., Жуковская Н. В., Лукашён Н. Г. и др. Эколого-геохимическое изучение земель (почв) урбанизированных территорий Беларуси в целях дифференцированного нормирования содержания в них нефтепродуктов // Земля Беларуси. 2018. № 3. С. 35–41 (начало), № 4. С. 18–19 (окончание).
6. Мырлян Н. Ф., Морару К. Е., Настас Г. И. Эколого-геохимический атлас Кишинёва. Кишинёв: Штиинца, 1992. 117 с.
7. ТКП 17.03.02–2013 (02120) Охрана окружающей среды и природопользование. Земли. Правила и порядок определения загрязнения земель (включая почвы) химическими веществами. Минск, 2013
8. Хомич В. С., Какарека С. В., Кухарчик Т. И. Экогеохимия городских ландшафтов Беларуси. Минск: Минсктиппроект, 2004. 260 с.
9. Хомич В. С., Кухарчик Т. И., Какарека С. В. и др. Особенности загрязнения почв в различных функционально-планировочных зонах Минска // Природопользование. 2009. № 16. С. 71–81.
10. ЭкоНИИП 17.01.06-001-2017 Охрана окружающей среды и природопользование. Требования экологической безопасности.