

РАЗДЕЛ 3. ГЕОЭКОЛОГИЯ

УДК 332.368

ЗАГРЯЗНЕНИЕ ТЯЖЕЛЫМИ МЕТАЛЛАМИ ПОЧВ ГОРОДА СИМФЕРОПОЛЬ

Бобра Т. В.¹, Лычак А. И.²

*^{1,2}Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского, Симферополь, Российская Федерация
E-mail: ¹tvbobra@mail.ru, ²lychak1@rambler.ru*

Исследование направлено на анализ и картографирование загрязнения почв г. Симферополь тяжелыми металлами. Актуальность темы заключается в том, что для Симферополя изучение пространственных особенностей загрязнения городских почв и их картографирование ранее носили единичный и неполный характер. При этом экологическое состояние почв является неотъемлемой составляющей формирования экологической ситуации в городе. Цель работы – изучение и анализ загрязнения почв г. Симферополь тяжелыми металлами на основе мониторинговых исследований, а также построение картографических моделей, отражающих пространственную дифференциацию загрязнения почв тяжелыми металлами.
Ключевые слова: загрязнение почв, тяжёлые металлы, экология городской среды, картографирование, Симферополь.

ВВЕДЕНИЕ

Из всего разнообразия химических элементов, которые поступают в окружающую среду из антропогенных источников, особое место занимают тяжелые металлы. В последнее время к разрушающему воздействию на почвенный покров, помимо эрозии, переуплотнения, засоления, добавился новый фактор деградации — техногенное загрязнение почв тяжелыми металлами.

Почвы являются природным накопителем тяжелых элементов в окружающей среде и основным источником загрязнения сопредельных сред, включая растения. Химические элементы аккумулируются в поверхностном плодородном слое. Почвы способны снижать токсичность металлов и других загрязнителей за счет своей буферности, но при этом скорость самоочищения почв снижается, ухудшаются ее свойства, что приводит к потере плодородия. В настоящее время отмечается повышенный интерес к исследованию экологического состояния объектов окружающей природной среды, в том числе почв и почвенного покрова. Это касается и почв городской среды. Актуальность темы исследования заключается в том, что для города Симферополя исследования загрязнения почв тяжелыми металлами проводились лишь в отдельных точках и не отражали пространственный характер.

Данное исследование посвящено анализу почв г. Симферополя по степени загрязнения тяжелыми металлами.

Целью проведенного исследования является — исследование и анализ загрязнения почв г. Симферополь тяжелыми металлами и изучение экологического состояния городских почв, находящихся в зонах антропогенного воздействия.

Задачи, решаемые в ходе проведенных исследований:

1. Обосновать систему точек отбора проб и полевых измерений;
2. Апробировать методики проведения лабораторных исследований для анализа загрязнения почв г. Симферополь тяжелыми металлами;
3. Охарактеризовать объект исследования, посредством изучения географического положения и рельефа г. Симферополь;
4. Привести характеристику почв и основных способов загрязнения на территории объекта исследования;
5. Провести анализ загрязненных почв тяжелыми металлами на территории г. Симферополь;
6. Проанализировать степень загрязнения почв г. Симферополь, посредством интегральной оценки.

Проведенные исследования опирались на следующую нормативно правовую базу: Земельный кодекс Российской Федерации [1]; Закон Об охране окружающей среды [2]; ГОСТ 17.4.3.01-2017. Охрана природы. Почвы [3]; СанПиН 2.1.7.1287-03. Санитарно-эпидемиологические требования к качеству почвы [4]; Предельно допустимые концентрации (ПДК) химических веществ в почве: Гигиенические нормативы [5]; ГОСТ 17.4.4.02-2017. Почвы. Методы отбора и подготовки проб для химического, бактериологического, гельминтологического анализа [6]; МУ 2.1.7.730-99. Гигиеническая оценка качества почвы населенных мест [7].

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

Методика изучения загрязнения почв города Симферополь включает в себя различные аспекты решения поставленных задач. Качественное и количественное определение химического состава почв проводилось рентгенофлуоресцентным методом анализа.

Рентгенофлуоресцентный анализ (РФА) — один из современных спектроскопических методов исследования вещества с целью получения его элементного состава, то есть его элементного анализа. Метод РФА основан на сборе и последующем анализе спектра, возникающего при облучении исследуемого материала рентгеновским излучением.

Измерения проводились портативным рентгенофлуоресцентным анализатором Vanta (TM) (портативной лабораторией анализа металлов в почвах и горных породах) в соответствии с аттестованными методиками измерений. Поверхности Vanta (TM) обеспечивает сверхбыстрое одновременное определение с лабораторной точностью элементов от Mg до U, а также прямое, без применения дополнительных принадлежностей, определение легких элементов (Mg, Al, Si, P, S) в геологических образцах и почвах. Предел обнаружения элементов — 0,1 ppm (0,0001%).

Отсутствие объективной системы нормативов учитывающей геохимические особенности той или иной территории предопределило необходимость

использования кардинально отличающихся от установленных ПДК методик изучения миграций химических элементов в экосистемах и оценки их экологического состояния в целом. Кларк концентрации (Кк) и кларк рассеяния рассчитывались в соответствии с методическими указаниями МУ 2.1.7.730-99 [7].

Получение информации с точек отбора проб осуществляется в пределах операционных территориальных единиц (ОТЕ) или территориальных единиц сбора информации (ТЕСИ). В экологическом картографировании в качестве ОТЕ принимаются комплексы или ландшафты, речные водосборы, административно-территориальные образования разных уровней, экономические районы.

В данном исследовании, для последующего картографирования загрязнения почв тяжелыми металлами, была выбрана регулярная сеть наблюдения, используя геометрически правильные сети (рис. 1). Отсутствие на момент исследований завершённой и апробированной карты ландшафтной структуры города Симферополя объясняет выбор именно регулярной сети мониторинга и отбора проб почв. Данную сеть используют при построении элементных или частных карт (картографирование какого-либо одного признака). При этом элементарные территориальные единицы представляют собой правильные геометрические объекты – квадраты, с длинной стороны квадрата 1 км. Полученные значения измеряемого параметра/значения присваиваются точке в центре квадрата. Дальнейшая интерполяция осуществляется методами геостатистики.

Таким образом, операционными территориальными единицами выступили квадраты регулярной километровой сетки (1x1 км). К центру каждого из квадратов приводились все измеряемые значения тяжелых металлов в почвах города. Места отбора проб в пределах километровых ячеек устанавливались согласно ГОСТ 17.4.4.02-2017, ISO 9516-1:2003 [3] и в зависимости от геолого-геоморфологических условий местности, типов почв, выращиваемых в их пределах агрокультур или от городских зеленых насаждений, от наличия дополнительных источников поступления тяжелых металлов. Данный подход позволил упростить расчеты и автоматические построения цифровых карт.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Город Симферополь находится в центральной части Крымского полуострова и расположен на стыке Горного и Равнинного Крыма. Большая часть столичного региона находится между Внутренней и Внешней грядами Предгорья в пределах Северной продольной депрессии, которую дренирует р. Салгир и ее притоки р. Славянка и р. Малый Салгир. Незначительные участки (микрорайоны Марьино, Кирпичное, Симферопольское водохранилище) лежат в Южной продольной депрессии. Долина реки Салгир делит городской округ на две части — восточную, более низкую (гряда поворачивает к югу), и западную, более возвышенную.

Площадь территории города Симферополя составляет 107 км². Абсолютные отметки рельефа в черте городского округа колеблются от 220 до 320 м. Абсолютная отметка поверхности в районе Петровских высот составляет 325 м. Юго-восточная часть территории муниципального образования характеризуется сложным рельефом

ЗАГРЯЗНЕНИЕ ТЯЖЕЛЫМИ МЕТАЛЛАМИ ПОЧВ ГОРОДА СИМФЕРОПОЛЬ

с перепадом отметок до 150 м. В северо-восточной части городского округа рельеф относительно спокойный с незначительным возвышением в западном направлении.

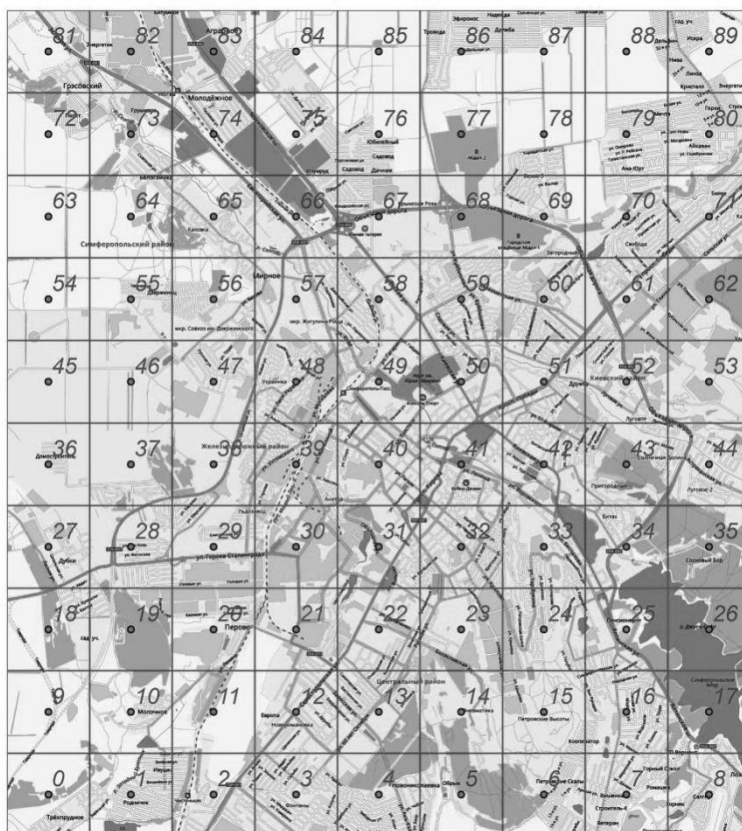


Рисунок 1. Регулярная сеть Точек отбора проб для измерения концентрации тяжелых металлов в почве.

Составлено авторами.

Почвенный покров территории городского округа Симферополь представлен черноземами остаточно-карбонатными, дерново-карбонатными почвами и лугово-черноземными почвами в пределах речных долин. Почвы пригодны для ведения сельского хозяйства без ограничений (при соблюдении соответствующих агротехнических мероприятий).

В 2017 году в результате эколого-токсикологического обследования почв на территории Республики Крым ФГБУ «ЦАС «Крымский» установлены факты загрязнения почв тяжелыми металлами и пестицидами на общей площади 1079,5 га. На площади 566,2 га выявлено повышенное содержание меди (Симферопольский, Нижнегорский, Бахчисарайский, Красногвардейский, Джанкойский и Белогорский

районы), на 398,3 га — повышенное содержание ДДТ (Симферопольский, Джанкойский, Белогорский, Кировский и Бахчисарайский районы), на 115 га — повышенное содержание свинца (Советский и Красногвардейский районы) [8].

В число приоритетных тяжелых металлов, загрязняющих почву населенных мест в Республике Крым, входят свинец, цинк, медь.

Расположение и распределение тяжелых металлов по поверхности почвы зависит от количества и характера источников загрязнения, геохимических факторов, метеорологических условий региона. Характер источника загрязнения (естественный или антропогенный) определяет качество и количество выбрасываемого продукта [11].

Основными источниками загрязнения почв г. Симферополь тяжелыми металлами, является: использование различных удобрений и бытовой химии, выбросы от автомобильного транспорта, а также накопление твердых коммунальных отходов.

Проведенное нами исследование позволило выделить основные природные и антропогенные источники поступления тяжелых металлов в городскую среду Симферополя, выявить особенности пространственной дифференциации значений концентрации тяжелых металлов в почвах города и оценить геоэкологическую ситуацию (табл. 1, рис. 2).

Таблица 1.
Краткий анализ результатов экогеохимических исследований почв г. Симферополь
(по содержанию тяжелых металлов)

Название тяжелого металла, значения	Анализ результатов исследования	
Ванадий (V). Мин 0,357 Макс 115,922 Среднее 59,811 Ср.кв.откл. 13,091	Максимальные значения приурочены к транспортным магистралям, частному сектору жилой застройки и центральной части города (долинно-террасовые ПТК).	Превышение ПДК не наблюдалось. Геоэкологическая ситуация нормальная
Кадмий (Cd) Мин 0,001 Макс 0,568 Среднее 0,275 Ср.кв.откл. 0,116	Однозначной приуроченности максимальных значений к элементам промышленной или транспортной инфраструктуры не выявлено. Максимумы значений приходятся на ПТК межрядовых понижений и склонов куэст и балок	Превышение ПДК не наблюдалось. Геоэкологическая ситуация нормальная
Медь (Cu) Мин 0,159 Макс 127,665	Максимальные значения приурочены к транспортным магистралям, и центральной	Превышение ПДК не наблюдалось.

ЗАГРЯЗНЕНИЕ ТЯЖЕЛЫМИ МЕТАЛЛАМИ ПОЧВ ГОРОДА СИМФЕРОПОЛЬ

Среднее 40,620 Ср.кв.откл. 14,175	части города (долинно-террасовые ПТК).	Геоэкологическая ситуация нормальная
Мышьяк (As) Мин 4,045 Макс 26,741 Среднее 9,901 Ср. кв.откл. 2,836	Максимальные значения приурочены к транспортным магистралям, частному сектору жилой застройки и центральной части города (долинно-террасовые ПТК).	Наблюдаются множественные превышение ПДК вдоль транспортных магистралей и в центре города. Среднее значение по городу близко к ПДК. Геоэкологическая ситуация напряженная
Никель (Ni) Мин 2,212 Макс 7,192 Среднее 4,482 Ср. кв.откл. 0,729 ПДК – 4,0	Максимальные значения приурочены к транспортным магистралям, частному сектору жилой застройки города (межрядовые понижения, крупные балки и долинно-террасовые ПТК).	Наблюдаются множественные превышение ПДК вдоль транспортных магистралей, в частном секторе и в центре города. Среднее значение по городу превышает ПДК. Геоэкологическая ситуация напряженная
Ртуть (Hg) Мин 0 Макс 5,887 Среднее 0,076 Ср. кв.откл. 0,438 ПДК – 2,1	Максимальные значения единичны и приурочены к транспортным магистралям и промзоне (долинно-террасовые ПТК).	Превышение ПДК отмечено в единственной точке на востоке города в районе объездной дороги на Ялту. Геоэкологическая ситуация нормальная.
Свинец (Pb) Мин 0,099 Макс 263,451 Среднее 32,183 Ср. кв.откл. 22,044 ПДК - 30	Максимальные значения наблюдаются повсеместно и приурочены к транспортным магистралям, промышленным предприятиям, частному сектору жилой застройки и центральной части города (чаще приурочены к межрядовым понижениям, крупным балкам и долинно-террасовым природно-территориальным комплексам ПТК).	Наблюдаются множественные превышение ПДК вдоль транспортных магистралей и в центре города. Среднее значение по городу превышает ПДК в несколько раз. Геоэкологическая ситуация напряженная
Цинк (Zn) Мин 3,006 Макс 49,773	Максимальные значения наблюдаются повсеместно и приурочены к транспортным	Наблюдаются единичное превышение ПДК вдоль транспортных

Среднее 12,577 Ср. кв.откл. 6,382 ПДК – 23.0	магистралям, промышленным предприятиям, частному сектору жилой застройки и центральной части города (чаще приурочены к межрядовым понижениям, крупным балкам и долинно-террасовым природно-территориальным комплексам ПТК).	магистралей и на севере города в районе ГРЭСа. Среднее значение по городу не превышает ПДК. Геоэкологическая ситуация нормальная
--	---	--

Составлено авторами.

Оценка загрязнения почв цинком. Цинк (Zn) - химический элемент двенадцатой группы, четвёртого периода периодической системы химических элементов Д. И. Менделеева, с атомным номером 30. Цинк (Zn) считается наименее токсичным элементов из всех тяжелых металлов. В небольших количествах, содержание цинка в почве способствует повышению урожайности некоторых сельскохозяйственных культур. Однако высокая концентрация данного тяжелого металла в почве является причиной замедления роста и ухудшения плодородия растений, что приводит к резкому уменьшению урожайности [9].

Согласно утверждённым санитарным правилам и нормам СанПиН 1.2.3685-21 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания», предельно допустимые концентрации (ПДК) и ориентировочно допустимые концентрации (ОДК) химических веществ (Zn) в почве представлены в таблице 2 и 3. [10].

Ключевым фактором, который влияет на подвижность Zn в почве, является процентное содержание глинистых минералов. Важную роль играет уровень pH.

В почвах Zn является твердым веществом, может входить в состав солей, органоминеральных соединений, быть в сорбированном виде, а также находиться в составе минералов.

Таблица 2.

ПДК и ОДК химического элемента (Zn) в почве [10]

Наименование вещества	Регистрационный номер CAS	Формула	Величина ПДК/ОДК (мг/кг) с учетом фона (кларка)	Лимитирующий показатель вредности	Класс опасности
Цинк	7440-66-6	Zn	23,0/ –	Транслокационный	1

Таблица 3.

Нормы содержания токсичных элементов (Zn) в питательных грунтах [12]

Наименование показателя	Значение
Массовая концентрация примесей Zn (валовое содержание и подвижные формы), мг/кг сухого вещества, не более:	Ниже или на уровне норм, установленных Роспотребнадзором
Валовое содержание цинка	220,0
Подвижные формы цинка	23,0

Как видно из составленных картографических материалов на рисунке 2 и таблицы 1, картина загрязнения Zn для г. Симферополь, характеризуется наличием значительных градиентов концентрации данного элемента. В некоторых районах города Симферополь наблюдается превышение ПДК до 50 мг/кг. Данное превышение наблюдается в районе села Белоглинка (Симферопольский район), садоводческого некоммерческого товарищества Сосновый Бор (Добровское сельское поселение, Симферопольский район) на территории Кесслерского леса, а также на территории Ботанического сада имени Н.В. Багрова.

Превышения цинка (Zn) в данных районах может быть связано с применением цинкосодержащих удобрений, с накоплением на территории твердых коммунальных отходов, а также близостью к автомобильным дорогам.

Оценка загрязнения почв свинцом. Свинец (Pb) — химический элемент четырнадцатой группы периодической системы Д.И. Менделеева, с атомным номером 82.

Из-за широкомасштабного загрязнения окружающей среды свинцом, верхние горизонты большинства почв обогащены данным элементом. Естественные содержания свинца в почвах происходят от материнских пород.

К основным источникам загрязнения почв свинцом относится автомобильный транспорт и цветная металлургия, большой процент выброс свинца происходит от производства железа и стали. Свинец содержится в выхлопных газах, которые выделяются двигателями внутреннего сгорания.

Свинец менее подвижен в почве, в отличие от других тяжелых металлов. Свинец хорошо закрепляется органическим веществом почвы. Главная опасность свинца заключается в его канцерогенных свойствах. Избыток свинца в организме повышает возможность развития онкологических заболеваний.

Согласно Национальному стандарту Российской Федерации ГОСТ Р 53381-2009 [10], содержание в питательных грунтах токсичных элементов не должно превышать норм, установленных правовыми актами РФ (табл.4.)

Таблица 4.

Нормы содержания токсичных элементов (Pb) в питательных грунтах [10]

Наименование показателя	Значение
Массовая концентрация примесей Pb (валовое содержание и подвижные формы), мг/кг сухого вещества, не более:	Ниже или на уровне норм, установленных Роспотребнадзором
Валовое содержание свинца	130,0
Подвижные формы свинца	6,0

Согласно утвержденным санитарным правилам и нормам СанПиН 1.2.3685-21 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания», предельно допустимые концентрации (ПДК) и ориентировочно допустимые концентрации (ОДК) химических веществ (Pb) в почве представлены в таблице 4.4. [12].

Таблица 5.

ПДК и ОДК химического элемента (Pb) в почве [12]

Наименование вещества	Регистрационный номер CAS	Формула	Величина ПДК/ОДК (мг/кг) с учетом фона (кларка)	Лимитирующий показатель вредности	Класс опасности
Свинец	7439-92-1	Pb	32,0 /130,0	Общесанитарный	1

Проведенное исследование и составленные картографические материалы (рис.2.) показывают, что концентрация свинца однородно распределена по городской территории, с наличием островков повышенной концентрации. Превышение ОДК и ПДК для данного элемента, может быть связано с наличием большого количества автотранспорта и большим содержанием выхлопных газов.

ЗАГРЯЗНЕНИЕ ТЯЖЕЛЫМИ МЕТАЛЛАМИ ПОЧВ ГОРОДА СИМФЕРОПОЛЬ

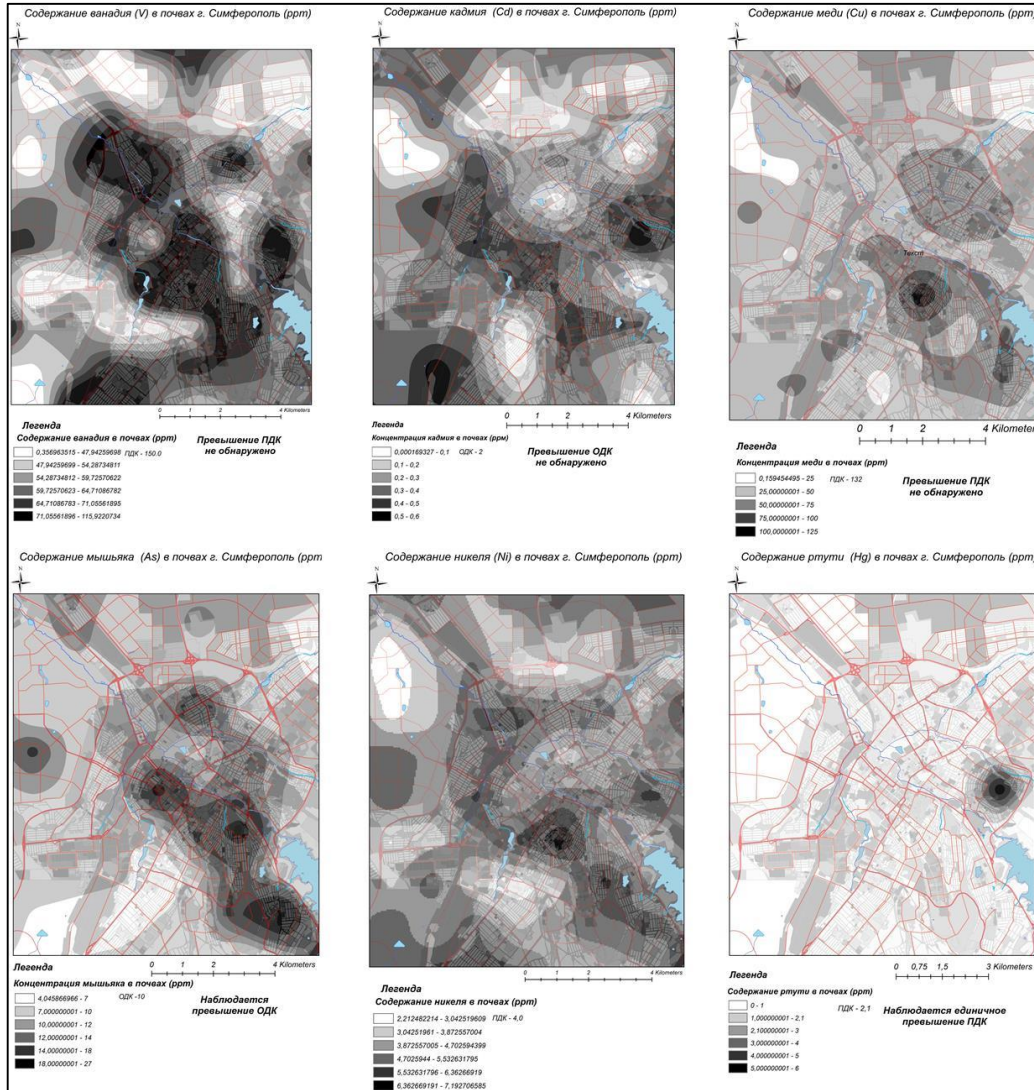


Рис.2. Пространственное распределение тяжелых металлов в почвах города Симферополя (V, Cd, Cu, As, Ni, Hg).

Оценка загрязнения почв мышьяком. Мышьяк (As) – химический элемент пятнадцатой группы четвертого периода периодической системы. Атомный номер – 33. Атомная масса – 74,92. Мышьяк – тяжелый металл, который относится к первой группе опасности (высоко опасный).

Мышьяк относится к особо опасным загрязняющим веществам и в повышенных концентрациях оказывает токсическое действие на живые организмы. Основное содержание мышьяка в почве связано с наличием его в почвообразующей породе, а также с антропогенными источниками: горная и химическая промышленность, угольные электростанции, использование пестицидов. Элемент имеет однородное

распределение в основных типах почвообразующих пород. Содержание мышьяка, обычно, варьирует от 0,5 до 2,5 мг/кг, при этом в глинистых отложениях содержание мышьяка значительно больше (до 13 мг/кг), чем в других породах.

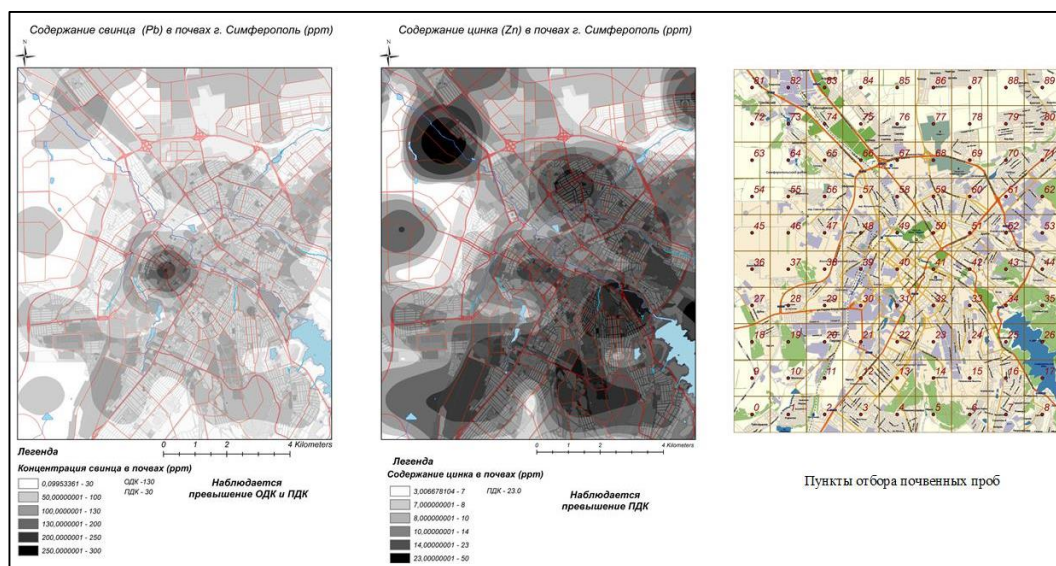


Рис. 3. Пространственное распределение тяжелых металлов в почвах города Симферополя (Pb, Zn).

Мышьяк попадает в грунт при обработке гербицидами и инсектицидами, с помощью которых борются с различными вредителями. Имеет способность накапливаться в почве. При попадании в организм вызывает поражения нервной системы.

Согласно Национальному стандарту Российской Федерации ГОСТ Р 53381-2009 [10], содержание в питательных грунтах токсичных элементов не должно превышать норм, установленных правовыми актами РФ (табл.6.).

Таблица 6.

Нормы содержания токсичных элементов (As) в питательных грунтах [10]

Наименование показателя	Значение
Массовая концентрация примесей As (валовое содержание и подвижные формы), мг/кг сухого вещества, не более:	Ниже или на уровне норм, установленных Роспотребнадзором
Валовое содержание мышьяка	10,0
Подвижные формы мышьяка	—

ЗАГРЯЗНЕНИЕ ТЯЖЕЛЫМИ МЕТАЛЛАМИ ПОЧВ ГОРОДА СИМФЕРОПОЛЬ

Согласно утвержденным санитарным правилам и нормам СанПиН 1.2.3685-21 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания», предельно допустимые концентрации (ПДК) и ориентировочно допустимые концентрации (ОДК) химических веществ (As) в почве представлены в таблице 4.6. [12].

Таблица 7.

ПДК и ОДК химического элемента (As) в почве [12]

Наименование вещества	Регистрационный номер CAS	Формула	Величина ПДК/ОДК (мг/кг) с учетом фона (кларка)	Лимитирующий показатель вредности	Класс опасности
Мышьяк	7440-32-2	As	– /10,0	–	1

При проведении исследования о содержании мышьяка в городских почвах города Симферополя, составлены картографические материалы (рис.2.) и проведен анализ образования данного тяжелого металла в почвах.

Картина загрязнения мышьяком (As) на территории города, характеризуется наличием вытянутых участков, а также островков с превышением ОДК для данного элемента. Превышения наблюдаются в Южной промышленной зоне, на территории которой, осуществляют деятельность ряд производственных предприятий. Значительные превышения наблюдаются в северо-западной части города, в границах различных садоводческих товариществах, что может быть связано, с попаданием в грунт различных веществ при обработке растений от вредителей.

Оценка загрязнения почв никелем. Никель (Ni) — десятый элемент периодической системы Д.В. Менделеева, с атомным номером — 28. Простое вещество, переходный металл серебристо-белого цвета, химически малоактивен.

При содержании в почве допустимых норм, никель оказывает благоприятное влияние, повышая урожайность сельскохозяйственных культур и общее состояние растений. При повышении концентрации происходит подавление процессов фотосинтеза.

Никель содержится в верхних горизонтах почвы в виде органические связанных форм, в том числе легкорастворимых хелатов. При усвоении никеля растениями происходит взаимодействие с содержащимися в почве железом, магнием, хромом и другими элементами.

Избыточное содержание никеля в почве связано с интенсивным техногенным загрязнением, которое происходит из-за активной деятельности промышленных предприятий. Также причиной накопления никеля в почве являются различные бытовые отходы и использование гербицидов, а также автомобильно-дорожный транспорт.

Никель и его соединения, загрязняя почву, вызывают изменения микробных ценозов: снижается количество бактерий в поверхностном слое почвы и возрастает на глубине 10-15 см, уменьшается количество актиномицетов и возрастает

численность грибов. Согласно Национальному стандарту Российской Федерации ГОСТ Р 53381-2009 [10], содержание в питательных грунтах токсичных элементов не должно превышать норм, установленных правовыми актами РФ (табл.8.).

Таблица 8.

Нормы содержания токсичных элементов (Ni) в питательных грунтах [21]

Наименование показателя	Значение
Массовая концентрация примесей Ni (валовое содержание и подвижные формы), мг/кг сухого вещества, не более:	Ниже или на уровне норм, установленных Роспотребнадзором
Валовое содержание никеля	80,0
Подвижные формы никеля	4,0

Согласно утвержденным санитарным правилам и нормам СанПиН 1.2.3685-21 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания», предельно допустимые концентрации (ПДК) и ориентировочно допустимые концентрации (ОДК) химических веществ (Ni) в почве представлены в таблице 9 [12].

Таблица 9.

ПДК и ОДК химического элемента (Ni) в почве [12]

Наименование вещества	Регистрационный номер CAS	Формула	Величина ПДК/ОДК (мг/кг) с учетом фона (кларка)	Лимитирующий показатель вредности	Класс опасности
Никель	7440-02-0	Ni	4,0/-	Общесанитарный	2

При проведении исследования о содержании никеля в городских почвах города Симферополя, составлены картографические материалы (рис.2.) и таблица 1 проведен анализ образования данного тяжелого металла в почвах. Загрязнение г. Симферополя никелем, характеризуется фрагментарностью. На территории города, выделяются различные фрагменты с превышением ПДК для данного элемента. Содержание никеля (Ni) зависит от насыщенности этим элементом почвообразующих пород. Также уровень содержания никеля зависит от масштабного антропогенного загрязнения. Загрязнение почв г. Симферополь может быть связано с промышленными выбросами и сжиганием топлива.

Оценка загрязнения почв ртутью. Ртуть (Hg) — переходный металл, относящийся к двенадцатой группе подгруппе цинка, с атомным номером — 80. Ртуть — единственный металл, простые вещества которого при нормальных условиях находятся в жидком агрегатном состоянии.

ЗАГРЯЗНЕНИЕ ТЯЖЕЛЫМИ МЕТАЛЛАМИ ПОЧВ ГОРОДА СИМФЕРОПОЛЬ

Почва, является одним из важных компонентов в глобальном биогеохимическом цикле ртути. Большая часть металла осаждается на поверхности почвы.

Загрязнение почв ртутью зависит от функционирования предприятий цветной металлургии, применением ртутьсодержащих фунгицидов, использованием сточных вод в целях орошения и разработкой месторождений ртути. Другой источник поступления ртути — бытовые и промышленные отходы, в которых содержатся люминесцентные лампы, термометры и другие.

Ртуть, имея такие токсичные свойства, относят к наиболее опасным техногенным процессам при загрязнении почвы.

Согласно Национальному стандарту Российской Федерации ГОСТ Р 53381-2009 [10], содержание в питательных грунтах токсичных элементов не должно превышать норм, установленных правовыми актами РФ (табл.10.).

Таблица 10.

Нормы содержания токсичных элементов (Hg) в питательных грунтах [10]

Наименование показателя	Значение
Массовая концентрация примесей Hg (валовое содержание и подвижные формы), мг/кг сухого вещества, не более:	Ниже или на уровне норм, установленных Роспотребнадзором
Валовое содержание ртути	2,1
Подвижные формы ртути	–

Согласно утвержденным санитарным правилам и нормам СанПиН 1.2.3685-21 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания», предельно допустимые концентрации (ПДК) и ориентировочно допустимые концентрации (ОДК) химических веществ (Hg) в почве представлены в таблице 11 [12].

Таблица 11.

ПДК и ОДК химического элемента (Hg) в почве [12]

Наименование вещества	Регистрационный номер CAS	Формула	Величина ПДК/ОДК (мг/кг) с учетом фона (кларка)	Лимитирующий показатель вредности	Класс опасности
Ртуть	7439-97-6	Hg	2.1/–	Транслокационный	1

Содержание ртути в городских почвах города Симферополь показан на рисунке 11. Проведенный анализ показал, что на территории города наблюдается единичное превышение предельно допустимой концентрации (ПДК) по содержанию никеля. Данное превышение установлено на территории Киевского района, ландшафтно-рекреационный парк «Битак».

Оценка загрязнения почв кадмием. Кадмий (Cd) — химический элемент двенадцатой группы периодической системы, с атомным номером — 48. При нормальных условиях, кадмий — мягкий ковкий тягучий металл серебристо-белого цвета. Устойчив к внешней среде, не меняет своей структуры под воздействием сухого воздуха.

Кадмий в отличие от свинца и ртути легко поглощается растениями. Кадмий в большей степени токсичен и вследствие загрязнения почв проникает в растительный организм. В определенных условиях ионы кадмия обладают большой подвижностью в почвах.

Кадмий относится к категории токсичных металлов и причислен к 1-му классу опасности. Кадмий поступает в составе отходов, которые образуются при добыче и переработке цинковых, свинцово-цинковых, медно-цинковых руд — в виде примесей оксидов, сульфидов и иных галогенидов, содержащиеся в выхлопных газах автомобилей. Основным источником загрязнения почвы данным элементом, является добыча и металлургия цинка, а также производство красок и электротехнической продукции. Также источником накопления данного элемента в повышенной концентрации являются удобрения, которые используются в сельскохозяйственной сфере [12].

Согласно Национальному стандарту Российской Федерации ГОСТ Р 53381-2009 [21], содержание в питательных грунтах токсичных элементов не должно превышать норм, установленных правовыми актами РФ (табл.12.)

Таблица 12

Нормы содержания токсичных элементов (Cd) в питательных грунтах [10]

Наименование показателя	Значение
Массовая концентрация примесей Cd (валовое содержание и подвижные формы), мг/кг сухого вещества, не более:	Ниже или на уровне норм, установленных Роспотребнадзором
Валовое содержание кадмия	2,0
Подвижные формы кадмия	—

Согласно утвержденным санитарным правилам и нормам СанПиН 1.2.3685-21 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания», предельно допустимые концентрации (ПДК) и ориентировочно допустимые концентрации (ОДК) химических веществ (Cd) в почве представлены в таблице 13. [12].

Таблица 13.

ПДК и ОДК химического элемента (Cd) в почве [12]

Наименование вещества	Регистрационный номер CAS	Формула	Величина ПДК/ОДК (мг/кг) с учетом фона (кларка)	Лимитирующий показатель вредности	Класс опасности
Кадмий	7440-43-9	Cd	-/2,0	–	1

Составленные картографические модели (см. рис.2.), таблица 1 и проведенный анализ показал, что на территории города Симферополь, превышения ориентировочной допустимой концентрации кадмия не наблюдается. Концентрация кадмия, в почвах на территории г. Симферополь, имеет яркую структуру, выделяются вытянутые вдоль дорог и островные участки с наиболее высокой концентрацией данного элемента.

Оценка загрязнения почв медью. Медь (Cu) — химический элемент одиннадцатой группы периодической системы химических элементов, с атомным номером 29. Пластичный переходный металл золотисто-розового цвета. В природе встречается в чистом виде и широко применяется в различных отраслях. По геологической классификации относится к группе халькофилов.

Особенность нахождения меди в почвах является аккумуляция в поверхностных горизонтах, вызванная техногенным воздействием на окружающую среду и биоаккумуляцией.

В почвах Cu содержится в основном в валовой форме и считается малоподвижным элементом. Основная часть меди в почвах связана с оксидами железа и марганца.

Загрязнение почвы медью отмечается в непосредственной близости от промпредприятий, занимающихся изготовлением лакокрасочных материалов, кабелей и различных электроприборов. Источником загрязнения почвы медью может служить также орошение водами с повышенным содержанием данного элемента, выбросами предприятий промышленности и использованием в сельском хозяйстве различных пестицидов.

Согласно Национальному стандарту Российской Федерации ГОСТ Р 53381-2009 [10], содержание в питательных грунтах токсичных элементов не должно превышать норм, установленных правовыми актами РФ (табл. 14).

Согласно утвержденным санитарным правилам и нормам СанПиН 1.2.3685-21 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания», предельно допустимые концентрации (ПДК) и ориентировочно допустимые концентрации (ОДК) химических веществ (Cu) в почве представлены в таблице 15. [12].

Таблица 14.

Нормы содержания токсичных элементов (Cu) в питательных грунтах [10]

Наименование показателя	Значение
Массовая концентрация примесей Cu (валовое содержание и подвижные формы), мг/кг сухого вещества, не более:	Ниже или на уровне норм, установленных Роспотребнадзором РФ
Валовое содержание меди	132,0
Подвижные формы меди	3,0

Таблица 15.

ПДК и ОДК химического элемента (Cu) в почве [12]

Наименование вещества	Регистрационный номер CAS	Формула	Величина ПДК/ОДК (мг/кг) с учетом фона (кларка)	Лимитирующий показатель вредности	Класс опасности
Медь	7440-50-8	Cu	- /132,0	–	2

Анализ проведенного исследования и составленные картографические материалы показывают, что на территории города Симферополь, превышение концентрации меди в почве не наблюдается (рис.2). При анализе картографических материалов, можно выделить небольшие островные участки, с более высокой концентрацией меди (Cu).

Оценка загрязнения почв ванадием. Ванадий (V) — химический элемент пятнадцатой группы периодической системы химических элементов Д.В. Менделеева, с атомным номером 23. Пластичный переходный металл серебристо-белого цвета.

Соединения ванадия широко распространены в окружающей среде, но находятся в распыленном состоянии и не образуют больших скоплений. Данный элемент играет важную роль в жизни растений и входит в состав различных комплексных загрязнений.

В почвенном покрове ванадий распределен однородно, некоторые вариации являются причиной различного содержания элемента в материнских породах. Высокие концентрации ванадия характерны для почв, которые развиты на основных породах.

Согласно утвержденным санитарным правилам и нормам СанПиН 1.2.3685-21 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания», предельно допустимые концентрации (ПДК) и ориентировочно допустимые концентрации (ОДК) химических веществ (V) в почве представлены в таблице 16. [12].

Таблица 16.

ПДК и ОДК химического элемента (V) в почве [12]

Наименование вещества	Регистрационный номер CAS	Формула	Величина ПДК/ОДК (мг/кг) с учетом фона (кларка)	Лимитирующий показатель вредности	Класс опасности
Ванадий	7440-62-2	V	150,0/-	Общесанитарный	3

Данное исследование и составленные картографические материалы показали, что на территории г. Симферополь, превышение предельно допустимой концентрации ванадия (V) не наблюдается (см. рис.2.)

Интегральная оценка степени загрязнения почв тяжелыми металлами осуществлялась через сопоставление фактических значений концентрации (валовых и подвижных форм) с нормативными, на основании описанных нормативных методов. За нормативные показатели принимались нормативные значения концентрации тяжелых металлов в почве или фоновые концентрации. Оценка давалась по отдельным тяжелым металлам и по суммарному показателю загрязнения.

Критерием оценки уровня загрязнения почв является предельно допустимая концентрация химических веществ в пахотном горизонте почвы, которая не должна вызывать прямого или косвенного влияния на соприкасающиеся среды и здоровье человека.

В таблице 17 представлены результаты расчета коэффициента концентрации для каждого из восьми исследуемых элементов тяжелых металлов в соответствии с методикой интегральной оценки МУ 2.1.7.730-99. Гигиеническая оценка качества почвы населенных мест [7].

Таблица 17

Коэффициент концентрации тяжелых металлов

	Zn	Pb	As	Ni	Hg	Cd	Cu	V
Коэффициент концентрации	2,17	6,25	2,7	1,7	8,8	0,3	0,9	0,7

Далее определялся суммарный показатель загрязнения (Z_c), который отражает сумму вредного воздействия группы элементов тяжелых металлов:

$$Z_c = 23,52 - (8 - 1) = 16,52.$$

Таким образом, суммарный показатель загрязнения почв г. Симферополь тяжелыми металлами составляет 16,52, что позволяет оценить ситуацию по загрязнению почв как умеренно опасную.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Почвенный покров территории городского округа Симферополь представлен черноземами остаточно-карбонатными, дерново-карбонатными и лугово-черноземными почвами. Почвы пригодны для ведения сельского хозяйства на приусадебных участках без ограничений (при соблюдении соответствующих агротехнических мероприятий).

Основными потенциальными источниками загрязнения почв г. Симферополь тяжелыми металлами, являются: выбросы от автомобильного транспорта, промышленные объекты города, использование различных удобрений и бытовой химии, а также стихийные накопления твердых коммунальных отходов.

На основе данных актуальных мониторинговых исследований, проведенных авторами, построены картографические модели, отражающие пространственную дифференциацию загрязнения почв тяжелыми металлами на территории города Симферополя и проведена интегральная оценка загрязнения почв по содержанию в ней 8 элементов (цинк, свинец, мышьяк, никель, ртуть, кадмий, медь, ванадий).

К числу приоритетных тяжелых металлов, загрязняющих почву города, можно отнести свинец, цинк, медь, никель и мышьяк.

Загрязнение почв тяжелыми металлами характеризуется небольшими градиентами и фрагментарностью. Максимальные концентрации тяжелых металлов тяготеют к промышленным объектам, автомобильным дорогам и магистралям, а также к сельскохозяйственным участкам частного сектора.

Суммарный показатель загрязнения почв г. Симферополь тяжелыми металлами составляет 16,52. Данный показатель указывает на то, что на территории города сложилась умеренно опасная ситуация по загрязнению почв тяжелыми металлами.

Список литературы

1. Земельный кодекс Российской Федерации: текст с изменениями и дополнениями на 20 ноября 2017 г. – М.: Эксмо, 2017. – 160 с.
2. Закон «Об охране окружающей среды» (ред. от 01.01.2018, с изм. от 31.12.2017): Федеральный закон от 10.01.2002 № 7-ФЗ // Консультант-Плюс: справ. -правовая система.
3. ГОСТ 17.4.3.01-2017. Охрана природы. Почвы. Общие требования к отбору проб. – Введ. 01.01.2019. – М.: Стандартинформ, 2018. – 8 с.
4. СанПиН 2.1.7.1287-03. Санитарно-эпидемиологические требования к качеству почвы: Санитарно-эпидемиологические правила и нормативы. – М.: Федеральный центр госсанэпиднадзора Минздрава России, 2004. – 16 с.
5. Предельно допустимые концентрации (ПДК) химических веществ в почве: Гигиенические нормативы. – М.: Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2006. – 15 с.
6. ГОСТ 17.4.4.02-2017. Почвы. Методы отбора и подготовки проб для химического, бактериологического, гельминтологического анализа. – Введ. 01.01.2019. – М.: Стандартинформ, 2018. – 12 с.
7. МУ 2.1.7.730-99. Гигиеническая оценка качества почвы населенных мест. – Введ.

- 05.04.1999 // Консультант-Плюс: справ. -правовая система.
8. Доклад о состоянии и охране окружающей среды на территории Республики Крым в 2019 году / Совет Министров Республики Крым. Министерство экологии и природных ресурсов. – Симферополь, 2019. – 360 с.
 9. Наместникова О. В. Мониторинг загрязнения цинком и кадмием городских почв в системе обеспечения экологической безопасности урбанизированных территорий // Технологии техносферной безопасности. 2017, №5(75). – С. 87-100.
 10. Постановление Главного санитарного врача Российской Федерации от 21.01.2021 №2 Об утверждении санитарных правил и норм СанПиН 1.2.3685-21 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания». Зарегистрировано в Минюсте России 29 января 2021 г. N 62296. 2021. - 1025 с.
 11. Жеткызгенова Д. Б. Токсическое действие тяжелых металлов на окружающую среду и разработка технологии по очистке тяжелых металлов // Международный студенческий научный вестник. – Алматы, 2016, №6. – С. 53-63.
 12. ГОСТ Р 53381-2009. Национальный стандарт Российской Федерации. Почвы и грунты. Грунты питательные. Технические условия. – 9с.

HEAVY METAL CONTAMINATION OF SOILS IN SIMFEROPOL

Bobra T. V.¹, Lychak A. I.²

*^{1,2}V. I. Vernadsky Crimean Federal University, Simferopol, Russian Federation
E-mail: ¹tvbobra@mail.ru, ²lychak1@rambler.ru*

The research is dedicated to the analysis and mapping of soil pollution with heavy metals in Simferopol. The research topic is relevant as the study of spatial patterns of urban soil pollution and their mapping in Simferopol was previously sporadic and incomplete. The purpose of the study is to study and analyze soil contamination with heavy metals in Simferopol, and to assess the ecological state of urban soils located in areas affected by human activity.

The methodology for studying soil pollution in Simferopol includes various aspects of addressing the set tasks. Qualitative and quantitative determination of the chemical composition of samples (rocks and soils) was conducted using X-ray fluorescence analysis. The measurements were carried out by a portable X-ray fluorescence analyzer Vanta (TM) (a portable laboratory for the analysis of metals in soils and rocks) in accordance with certified measurement methods.

The research has made it possible to identify the main natural and anthropogenic sources of heavy metal input into the environment in Simferopol. Natural sources consist of:

- 1) input from mineral rocks during soil formation;
- 2) input from natural fires, rock weathering, during dust storms, etc into the atmosphere.

Technogenic sources of heavy metals include:

- 1) solid municipal waste within and outside the city;
- 2) waste from metal processing in industrial zones;
- 3) fossil fuel combustion products for heating buildings;

- 4) emissions of vehicle exhaust gases and liquids;
- 5) agrochemicals and household chemicals;
- 6) industrial emissions.

The assessment proved that the situation of soil contamination with heavy metals in the study area can be considered «normal». Minor exceedances of indicators were observed in the content of zinc, lead, arsenic and there was a single excess of mercury.

The pattern of contamination with these elements is characterized by small gradients and fragmentation. The concentration of these heavy metals tends to be higher near industrial facilities, roads, highways, as well as agricultural fields.

The analysis and calculation of the integral assessment revealed that in Simferopol the overall contamination level of soil with heavy metals is 16.52. It indicates that there is a moderately hazardous situation regarding soil contamination with heavy metals on the territory of the city.

Keywords: soil pollution, heavy metals, urban ecology, mapping, Simferopol.

References

1. Zemel'nyj kodeks Rossijskoj Federacii ot 25.10.2001 № 136-FZ // Konsul'tant-Plyus: sprav.-pravovaya sistema. (in Russian)
2. Zakon Ob ohrane okruzhayushchej sredy: Federal'nyj zakon ot 10.01.2002 № 7-FZ // Konsul'tant-Plyus: sprav.-pravovaya sistema. (in Russian)
3. GOST 17.4.3.01-2017. Ohrana prirody. Pochvy. Obshchie trebovaniya k otboru prob. – Vved. 01.01.2019. – M.: Standartinform, 2018. – 8 s. (in Russian)
4. SanPiN 2.1.7.1287-03. Sanitarno-epidemiologicheskie trebovaniya k kachestvu pochvy: Sanitarno-epidemiologicheskie pravila i normativy. – M.: Federal'nyj centr gossanepidnadzora Minzdrava Rossii, 2004. – 16 s. (in Russian)
5. Predel'no dopustimye koncentracii (PDK) himicheskikh veshchestv v pochve: Gigienicheskie normativy. – M.: Federal'nyj centr gigiyeny i epidemiologii Rospotrebnadzora, 2006. – 15 s. (in Russian)
6. GOST 17.4.4.02-2017. Pochvy. Metody otbora i podgotovki prob dlya himicheskogo, bakteriologicheskogo, gel'mintologicheskogo analiza. – Vved. 01.01.2019. – M.: Standartinform, 2018. – 12 s. (in Russian)
7. MU 2.1.7.730-99. Gigienicheskaya ocenka kachestva pochvy naselennyh mest. – Vved. 05.04.1999 // Konsul'tant-Plyus: sprav.-pravovaya sistema. (in Russian)
8. Doklad o sostoyanii i ohrane okruzhayushchej sredy na territorii Respubliki Krym v 2019 godu / Sovet Ministrov Respubliki Krym. Ministerstvo ekologii i prirodnyh resursov. – Simferopol', 2019. – 360 s. (in Russian)
9. Namestnikova O. V. Monitoring zagryazneniya cinkom i kadmiem gorodskih pochv v sisteme obespecheniya ekologicheskoy bezopasnosti urbanizirovannyh territorij // Tekhnologii tekhnosfernoj bezopasnosti. 2017, №5(75). – S. 87-100. (in Russian)
10. Postanovlenie Glavnogo sanitarnogo vracha Rossijskoj Federacii ot 21. 01.2021 №2 Ob utverzhdenii sanitarnykh pravil i norm SanPiN 1.2.3685-21 «Gigienicheskie normativy i trebovaniya k obespecheniyu bezopasnosti i (ili) bezvrednosti dlya cheloveka faktorov sredy obitaniya». Zaregistrirvano v Minyuste Rossii 29 yanvarya 2021 g. N 62296. 2021. - 1025 s. (in Russian)
11. ZHetkizgenova D. B. Toksicheskoe dejstvie tyazhelyh metallov na okruzhayushchuyu sredyu i razrabotka tekhnologii po ochildke tyazhelyh metallov // Mezhdunarodnyj studencheskij nauchnyj vestnik. – Almaty, 2016, №6. – S. 53-63. (in Russian)
12. GOST R 53381-2009. Nacional'nyj standart Rossijskoj Federacii. Pochvy i grunty. Grunty pitatel'nye. Tekhnicheskie usloviya. – M., 2009. – 9 s. (in Russian)

Поступила в редакцию 23.09.2023 г.