

УДК 550.4:504.05:528.8

## ДИСТАНЦИОННЫЙ И ГЕОХИМИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ ПОЧВЕННО-РАСТИТЕЛЬНОГО ПОКРОВА ОБЪЕКТОВ РАЗМЕЩЕНИЯ ОТХОДОВ (КУРСКАЯ ОБЛАСТЬ)

© 2019 г. И. В. Замотаев<sup>1, \*</sup>, Н. О. Тельнова<sup>1, \*\*</sup>, О. В. Кайданова<sup>1</sup>,  
Т. И. Борисочкина<sup>2</sup>, С. Б. Сулова<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Институт географии РАН, Москва, Россия

<sup>2</sup> Почвенный институт имени В.В. Докучаева, Москва, Россия

\*e-mail: zivigran@yandex.ru

\*\*e-mail: Telnova@igras.ru

Поступила в редакцию 19.10.2018 г.; после доработки 04.04.2019 г.; принята в печать 30.05.2019 г.

Приводятся результаты многолетних дистанционных и геохимических исследований состояния почвенно-растительного покрова заброшенной свалки промышленных отходов у южной границы г. Курска. На основе анализа серии данных дистанционного зондирования различного разрешения и типа (1954–2018 гг.) реконструирована природная ландшафтная структура территории исследования. Проведено картографирование динамики зоны складирования отходов в период активной эксплуатации. Выделено пять хронофункциональных зон, существенно различающихся техногенными трансформациями ландшафтной структуры, содержанием и распределением тяжелых металлов в почвенно-растительном покрове. Изучены пространственное распределение и многолетняя (2000–2017 гг.) динамика загрязнения тяжелыми металлами почв и техногенных поверхностных образований различных хронофункциональных зон свалки. Установлено, что для распределения тяжелых металлов характерна исключительно высокая пространственно-временная гетерогенность. Наиболее высокий уровень загрязнения почвенно-растительного покрова тяжелыми металлами (Pb, Cd, Ni, Zn, Cu, Sb) характерен для зоны экскавации, перемешивания и погребения промышленных отходов в 2001–2011 гг. Повышенные содержания Sb и Zn сохраняются в поверхностных горизонтах черноземов на пологих приводораздельных склонах вблизи свалки.

**Ключевые слова:** антропогенно-преобразованные почвы, техногенные поверхностные образования, растительность, свалка промышленных отходов, тяжелые металлы, разновременные данные дистанционного зондирования.

**DOI:** <https://doi.org/10.31857/S2587-55662019596-110>

### ВВЕДЕНИЕ

Рост объема твердых бытовых и промышленных отходов — одна из наиболее актуальных экологических проблем. Наиболее распространенный способ утилизации отходов в России — складирование их на полигонах и свалках, зачастую без предварительной сортировки. В Курской области ежегодно образуется свыше 770 тыс. т отходов, в том числе 400 тыс. т твердых бытовых отходов (ТБО), из которых только незначительная часть (6.2%) подвергается переработке [14]. Общая площадь земель, изъятых под объекты размещения ТБО, составляет более 3248 га, причем отмечается тенденция к ее увеличению. Практически все полигоны (свалки) в области не отвечают природоохранным и санитарным требованиям [4].

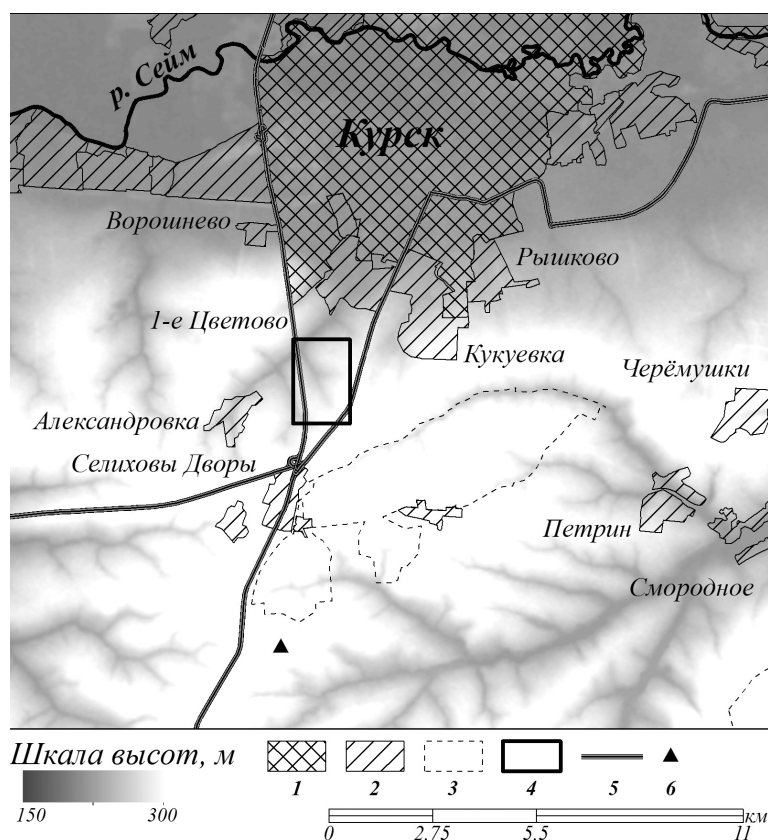
Негативное влияние на окружающие ландшафты оказывают не только ныне существующие свалки и полигоны, но и закрытые, которые после рекультивации вновь используются под складирование строительных и бытовых отходов. Вторичное использование свалок влечет за собой извлечение на поверхность токсичных отходов производства и загрязненных перекрывающих грунтов, создание котлованов, что ведет к расширению территории техногенного воздействия. К такому объекту относится выбранная для наших исследований свалка промышленных отходов предприятий, введенных в действие в южной части Курска в 1940–1950-х годах, в первую очередь — Курского аккумуляторного завода (КАЗ), производящего с 1952 г. свинцово-цинковые, а с 1956 г. — никель-кадмиевые аккумуляторы. При производстве аккумуляторов используются

сплавы Pb и Sb, имеющие повышенную твердость. В течение многих лет отходы, содержащие Pb, Cd, Ni, Sb, Zn и другие тяжелые металлы (ТМ), складировались в верховьях небольшой балки бассейна р. Сейм, расположенной в двух километрах к югу от Курска (рис. 1).

В настоящее время свалка официально не используется для складирования промышленных отходов и не значится ни в актуальном государственном реестре объектов размещения отходов, ни в территориальной схеме размещения отходов Курской области [14], ни в реестре объектов накопленного вреда окружающей среде. Тем не менее, с начала 2000-х годов ее поверхность многократно нарушается в связи с извлечением отходов для дальнейшей утилизации; происходит стихийное складирование строительно-бытового мусора. На участках многолетнего захоронения отходов созданы карьеры по добыче строительных материалов, с экскавацией погребенных загрязненных грунтов на дневную поверхность. Высокая динамичность многофункционального использования данной свалки обуславливает сохранение здесь высокой экологической опасности и позволяет рассматривать ее как мо-

дельный объект для комплексного применения ландшафтно-геохимических и дистанционных исследований. Примеры изучения динамики таких объектов на основе синтеза дистанционных и геохимических методов единичны как для Курской области, так и для других регионов России [1, 3, 10, 11, 15, 16]. За рубежом методы и данные дистанционного зондирования (ДДЗ) при изучении подобных объектов широко используются для индикации состояния растительного покрова, реконструкции и картографирования их структурно-функциональных параметров на разных стадиях “жизненного цикла” [17, 20, 21, 23]. Однако, примеры исследований динамики объектов накопления отходов по временным сериям ДДЗ, дополненных разновременным анализом геохимических характеристик почвенно-растительного покрова, немногочисленны [5, 18, 22].

В связи с этим целью настоящего исследования является проведение комплексного и ретроспективного мониторинга состояния почвенно-растительного покрова в сфере влияния свалки промышленных отходов, основанного на сопряженном использовании ландшафтно-геохимических, дистанционных и картографических



**Рис. 1.** Картосхема расположения района исследования. Масштаб 1 : 200 000.

Условные обозначения: 1 – городские населенные пункты; 2 – сельские населенные пункты; 3 – участок Центрально-Черноземного заповедника “Стрелецкая степь”; 4 – район исследования; 5 – главные автодороги; 6 – Курская биосферная станция ИГ РАН.

методов. Такой мониторинг предусматривает: реконструкцию и картографирование природной ландшафтной структуры и ее последующих техногенных трансформаций на разных стадиях функционирования свалки по разновременным ДДЗ; проведение ландшафтно-геохимического анализа уровней содержания ТМ в почвах, техногенных поверхностных образованиях (ТПО) и травянистой растительности на разных стадиях функционирования свалки (2000–2017 гг.).

### ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Исследуемая свалка расположена в ландшафтной зоне лесостепи у южной границы Курска, она занимает участки приводораздельных склонов, склоны и днища мелкой балки на площади 60 га. Природные почвообразующие породы представлены лёссовидными суглинками в верхних частях приводораздельных склонов, алюво-делювиальными отложениями в нижних частях склонов и в днищах балок. На территории свалки природные почвообразующие породы сохранились в верхних частях приводораздельных склонов и на небольших участках днища балки в ее нижней части, не преобразованных при эксплуатации объекта размещения отходов в 1970–1980-х годах. Они представлены, как правило, суглинками с примесью отходов разного происхождения. На большей части территории свалки в качестве почвообразующих пород в настоящее время выступают субстраты, представляющие собой техногенно-рекрементогенные отложения, получившие название от лат. *Recrementum* – отбросы, нечистоты, мусор [9, 13]. Их мощность составляет от нескольких сантиметров до 5–7 м. Эти отложения, состоящие из промышленно-бытовых твердых отходов, а также природных минеральных грунтов, используемых для послойной засыпки складированных отходов, сильно уплотнены и стратифицированы в ходе рекультивации свалки.

Почвенный покров природных ландшафтов территории исследований представлен черноземами миграционно-мицелярными на склонах, черноземами гидрометаморфизованными [6] или лугово-черноземными по классификации 1977 г. [7] – в днищах балок. На территории свалки преобладают поверхностно-преобразованные почвы и ТПО, прошедшие стадии нарушения (перемешивания, насыпания, погребения) в результате складирования отходов, последующей рекультивации, гарей (пожаров).

Растительный покров имеет небольшое проективное покрытие и представлен пионерными и рудеральными видами, часто образующими монодоминантные группировки (*Calamagrostis epigéios*, *Elytrigia repens*, *Taraxacum officinale*,

*Chamerion angustifolium*). На искусственно террасированных участках заброшенной свалки сформировались плотные заросли клена американского (*Acer negundo*) и робинии (*Robinia pseudoacacia*). Данные древесно-кустарниковые сообщества описаны как типичные для поздних стадий зарастания заброшенных свалок разного типа в Курской области [2]. Вне территорий активного складирования промышленных отходов на крутых и средней крутизны склонах балки западной экспозиции сохранились злаково-разнотравные луга. Они имеют хотя и типичный для таких местоположений, но несколько обедненный набор видов (*Poa angustifolia*, *Bromopsis inermis*, *Galium verum*, *Fragaria viridis*) и проективное покрытие 60–70%. Непосредственно к территории заброшенной свалки примыкают сельскохозяйственные земли – залежи и пашни, занимающие покатые и пологие приводораздельные склоны.

### Анализ данных дистанционного зондирования

Для реконструкции и картографирования природной ландшафтной структуры объекта исследования и стадий его функционирования использовалась продолжительная временная серия ДДЗ различного пространственного разрешения, полученных из разных источников. В первую очередь использовались разновременные материалы архивных крупномасштабных (12 000 – 30 000) аэрофотосъемок, выполненных 21.07.1954, 02.09.1963, 08.05.1971, 27.06.1977, 30.07.1978, 03.08.1980. Все отсканированные изображения были привязаны, ортогеотрансформированы и корегистрированы к аэрофотоснимку 1954 г., точность привязки составила 1.5 м. По снимкам 1954 и 1963 гг. было проведено визуальное дешифрирование природной ландшафтной структуры территории будущей свалки на уровне урочищ в масштабе 1:25 000. По снимкам 1971–1980 гг. детектировались границы зоны складирования отходов, подъездные пути и очаги поверхностного замусоривания вдоль них.

По доступным через веб-картографический сервис Google Earth субметровым весенне-летним мозаикам космических снимков проведено картографирование ареалов различных техногенных трансформаций ландшафтной структуры на отдельные временные срезы (2008, 2012, 2013 гг.) и ежегодно в 2014–2018 гг. Для устранения пробелов в хронологии функционирования свалки прерывистая серия высокодетальных ДДЗ была дополнена ежегодными мультиспектральными данными Landsat 4/5 TM, 7 ETM+, 8 OLI с пространственным разрешением 30 м, полученными в июне–августе 1984–2014 гг. Для всех 30 отобранных снимков Landsat проведена геометрическая коррекция и корегистрация к архивным

аэрофотоснимкам 1980 г. (масштаб 1:30 000), относительная атмосферная коррекция; рассчитан вегетационный индекс NDVI. На основе пространственно-временного анализа локальных аномалий NDVI на пике вегетационного сезона в отдельные годы были определены максимальная граница зоны складирования отходов, время выведения свалки из эксплуатации, периоды ее полного зарастания, локализованы и датированы ареалы механических нарушений растительного покрова в 2000-е годы.

**Ландшафтно-геохимические исследования** проводились на территории свалки в 2000, 2006, 2008 и 2017 гг. В 2000–2008 гг. проводился отбор образцов почв и ТПО из верхнего горизонта 0–10 см на склонах и в днище балки всей зоны активного складирования отходов 1970–1990-х годов и за ее пределами. В образцах почв и ТПО определялись преимущественно Pb, Cd, Ni, связанные с отходами КАЗа.

В 2017 г. основное внимание было уделено изучению загрязнения днища балки, где складировался основной объем отходов. На ключевых точках, расположенных в днище балки и на приводораздельном склоне за пределами свалки было проведено определение широкого спектра химических элементов в почвах, ТПО и растительности. В центре складирования отходов были отобраны пробы из горизонтов профиля ТПО, заложенного в днище балки, до глубины 40 см. Оценка загрязнения почв и растительности района исследования проводилась относительно фоновых ландшафтов в окрестностях Курской биосферной станции Института географии РАН (6 км к югу от территории исследования). Пробы почв в ландшафтах станции отбирались в каждый исследуемый период.

Для определения содержаний валовых форм ТМ в почвах и ТПО использовались следующие методы: 1) атомной абсорбции (спектрометр “Квант-2АТ”) с предварительным разложением проб в микроволновой автоклавной системе Milestone (предел обнаружения микроэлементов в твердом веществе –  $10^{-6}$ ) [8]; 2) атомно-эмиссионной спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой (ICP–MS) на приборе ELAN 6100 фирмы Perkin Elmer (предел обнаружения –  $10^{-8}$ ). Всего было проанализировано 46 проб почв и 8 – травянистых растений.

При оценке загрязнения рассчитывались коэффициенты техногенной концентрации  $K_c = C_i/C_\phi$ , где  $C_i$  – содержание элемента в объекте исследования (почве и растении),  $C_\phi$  – фоновое содержание. Для интегральной оценки загрязнения объектов исследования ТМ и степени экологической опасности использовался суммарный показатель загрязнения  $Z_c = \sum K_c - (n - 1)$ , где  $n$  – число ТМ с  $K_c > 1.5$  [12].

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

### *Реконструкция стадий функционирования свалки на основе разновременных аэрокосмических снимков*

Складирование промышленных отходов производилось преимущественно в пределах мелкой балки субмеридионального простираения с плоским днищем, крутыми юго-восточными и средней крутизны северо-западными склонами. На всем протяжении балочные склоны были осложнены мелкими эрозионными врезами и чащеобразными понижениями (рис. 2). Типичная для большей части балочных склонов и днища луговая растительность активно использовалась под сенокос.

Прерывистая временная серия используемых аэрофотоснимков (1954–1980 гг.) позволяет датировать начало складирования токсичных промышленных отходов предприятий г. Курска на отведенной для свалки территории не позднее 1970 г. Восстановленная последовательность расширения зоны складирования отходов показывает, что наиболее интенсивное заполнение балки промышленными отходами происходило в течение 1970-х годов (см. рис. 2). В первую очередь оказались полностью перекрыты часть днища балки в ее верховьях и мелкие эрозионные врезы, балочные склоны восточной экспозиции. К концу 1970-х годов зона складирования отходов охватила и противоположные балочные склоны, а также прилегающие пологие приводораздельные склоны юго-западной экспозиции. Водоотвод был проложен по восточной границе свалки и выведен в ненарушенное днище балки на 1 км вниз по течению, сформировав таким образом новое техногенное днище. К концу 1980-х годов активность складирования отходов постепенно затухает, расширение зоны складирования отходов до 30 га к 1990 г. происходит за счет приводораздельных склонов.

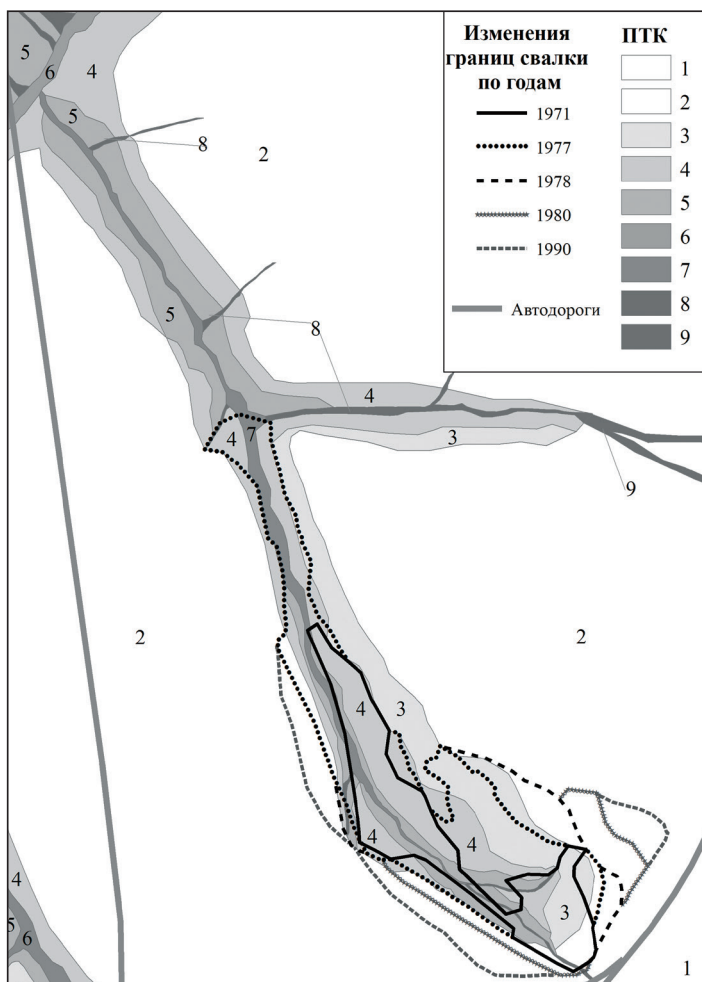
В 1991–1994 гг. по данным Landsat фиксируются наиболее высокие и однородные в пределах всей исследуемой территории значения нормализованного разностного вегетационного индекса NDVI, что свидетельствует об отсутствии механических нарушений ландшафтов, зарастании территории свалки естественной растительностью и, таким образом, о прекращении эксплуатации и ее консервации.

Новый этап техногенной трансформации ландшафтной структуры законсервированного объекта начинается в 2001 г. По снимкам Landsat выделяется ареал механических нарушений в центральной части свалки, постепенно расширяющийся и распростирающийся вдоль днища. Более детальная реконструкция и датировка

механических нарушений и техногенных трансформаций ландшафтной структуры, проведенные по разновременным мозаикам высокдетальных космических снимков 2008–2017 гг., показывают, что в пределах данного ареала до 2011 г. производилась неоднократная экскавация погребенных отходов, их перемешивание и экспонирование на дневную поверхность. В результате в центральной части заброшенной свалки сформировался своеобразный рекультивационный микрорельеф, представленный сложным сочетанием небольших насыпных валов, микротеррас и разделяющих их понижений. Часть извлеченных на поверхность отходов была вторично погребена под крупной насыпью в западной части свалки. В 2010-е годы на ее территории создаются крупные выемки и карьеры строительных материалов, формируются подъездные пути к ним. Периферийные

участки свалки, прилегающие к действующим и заброшенным подъездным путям, в то же время начинают использоваться как стихийная свалка бытовых отходов.

Анализ продолжительной временной серии ДДЗ различного разрешения и типа позволил реконструировать четыре стадии функционирования свалки: 1) активной эксплуатации (1970–1990 гг.); 2) консервации (1991–2000 гг.); 3) пострекультивационной экскавации (2000–2011 гг.); 4) пострекультивационной, осложненной стихийным складированием строительно-бытовых отходов и формированием карьеров (2012 г. – по настоящее время). На этой основе проведено выделение и картографирование хроно-функциональных зон заброшенной свалки для интерпретации результатов разновременных ландшафтно-геохимических исследований (рис. 3).



**Рис. 2.** Реконструированная природная ландшафтная структура территории свалки и изменения границ зоны складирования отходов в период активной эксплуатации. Исходный масштаб 1 : 10 000.

Природно-территориальные комплексы (ПТК): 1–3 – водораздельного уровня (пологонаклонные водораздельные поверхности и приводораздельные пологие и покатые склоны под пашнями); балочного уровня: 4, 5 – склоны балок покатые, средней крутизны и крутые под лугово-степной растительностью, местами закустаренные; 6, 7 – днища крупных и мелких балок под лугами; 8 – днища мелких эрозионных врезов под закустаренными лугами; 9 – потяжины.

**Эколого-геохимическое состояние почв и ТПО на разных стадиях функционирования свалки**

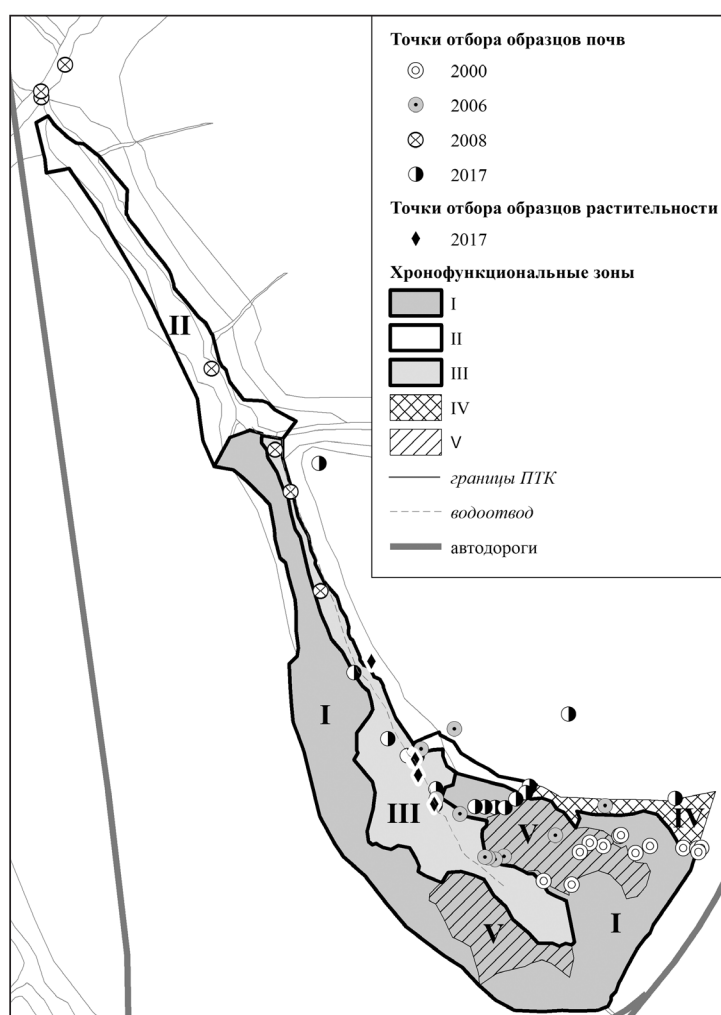
Почвенный покров исследованных участков балки представлен антропогенно-преобразованными почвами и ТПО. Их характеристика на точках исследования представлена в табл. 1.

Черноземы миграционно-мицелярные (AU-Uc-BCAmc-Cca) приурочены к пологим приводораздельным склонам под залежами, примыкающими к балке. Местами они приобретают признаки урбопедогенеза (AUurx-AUlc-BCAmc-Cca). В днище балки в разных условиях рекультивационного микрорельефа распространены черноземы гидротематоморфизованные (лугово-черноземные по классификации 1977 г.) с признаками урбопедогенеза (AUur-BCAq-Ccaq), серогумусовые техногенные химически загрязненные почвы (слаборазвитые дерно-

вые) (AYXur-TCHX1-TCHX2) и ТПО (TCHX1-TCHX2-TCHX3). Почвообразующими породами для серогумусовых техногенных почв служат маломощные (до 1 м) техногенно-рекрементогенные отложения.

ТПО на территории свалки классифицируются на уровне группы как токсифабрикаты, подгруппы как токсиндустраты [6] – искусственно созданные техногенно стратифицированные образования. Они формируются на мощных (5–7 м) техногенно-рекрементогенных отложениях, состоящих преимущественно из токсичного материала промышленных отходов.

В ходе проведенных в 2000–2008 гг. исследований обнаружены чрезвычайно высокие содержания всех определяемых элементов в поверхностных горизонтах токсиндустратов. В зоне складирования (2000 г.) превышение concentra-



**Рис. 3.** Хронофункциональное зонирование заброшенной свалки и точки отбора образцов почв и растительности. I – зона складирования промышленных отходов 1970–1980-х годов; II – зона поверхностного замусоривания вдоль подъездных путей 1970–1980-х годов; III – зона экскавации и перемешивания отходов с формированием техногенного микрорельефа 2001–2011 гг.; IV – зона стихийного спорадического складирования строительного и бытового мусора 2010-х годов; V – современные карьеры по добыче строительных материалов. Исходный масштаб 1 : 10 000.

ций ТМ над фоновыми составляет:  $K_{C_{Cd}} = 143$ ;  $K_{C_{Pb}} = 82$ ;  $K_{C_{Ni}} = 67$ ;  $K_{C_{Cu}} = 64$ . Эскавация, перемешивание и погребение промышленных отходов (2006–2008 гг.), проведенные в зоне складирования, привели к увеличению содержаний отдельных ТМ в токсиндустриатах:  $K_{C_{Cd}} = 375–710$ ;  $K_{C_{Pb}} = 143–208$ ;  $K_{C_{Zn}} = 125$  (табл. 2). Черноземы миграционно-мицелярные с признаками урбопедогенеза в пределах покатых приводораздельных склонов вне зоны складирования отходов оказались загрязненными значительно меньше:  $K_{C_{Cd}} = 6$ ;  $K_{C_{Ni}} = 7$ ;  $K_{C_{Cu}} = 5$ ;  $K_{C_{Pb}} = 3$ . В почвах днища балки в зоне спорадического поверхностного замусоривания вдоль подъездных путей свалки концентрации всех ТМ снижаются до фоновых, кроме содержаний Cd ( $K_c = 213$ ). Лишь в черноземах гидротематоморфизованных днища балки вне границ свалки содержания всех ТМ не превышают фоновые (см. табл. 2).

Ландшафтно-геохимические исследования 2017 г. отражают распределение концентраций более широкого спектра ТМ в почвах и ТПО хронофункциональных зон, выделенных в пределах свалки (табл. 3).

В пределах зоны складирования промышленных отходов в 1970–1990-х годах и на участках их более поздней эскавации, перемешивания и погребения в 2001–2011 гг. помимо Pb, Cd, Ni, Zn, Cu происходит накопление Sb с максимальной концентрацией выше 1000 мг/кг ( $K_{C_{max}} > 2000$ ). Значительное превышение содержаний отмечено также для Cr ( $K_{C_{max}} = 10$ ) и Sn ( $K_{C_{max}} = 30$ ). Суммарный показатель загрязнения  $Z_c^{max}$  в ТПО зоны складирования отходов и зоны эскавации, перемешивания и погребения более чем в 10 раз превышает принятый чрезвычайно высокий уровень загрязнения –  $Z_c > 128$  [12].

**Таблица 1.** Морфологические свойства поверхностных горизонтов почв и ТПО свалки и окружающих ландшафтов

Название почвы и ТПО	Горизонт	Описание горизонта
Черноземы миграционно-мицелярные с признаками прошлой распашки	AU	Черный, комковато-зернистая структура, тяжелосуглинистый, густо пронизан корнями. Не вскипает от HCl
Черноземы миграционно-мицелярные с признаками урбопедогенеза и черноземы гидротематоморфизованные с признаками урбопедогенеза	AUur	Черный, комковато-зернистая структура, тяжелосуглинистый, густо пронизан корнями. Наличие на поверхности строительного и бытового мусора. Не вскипает от HCl
Группа: Токсифабрикаты Подгруппа: Токсиндустриаты	TCHX	Окраска, как правило, буровато-серых оттенков с большим количеством черных пятен. Тяжелосуглинистый, местами опесчаненный; плотный. Содержит большое количество урбоиндустриальных включений (битый кирпич, обломки бетона, арматуры, металлоконструкции, кабель в свинцовой оболочке, древесину, стекло, пластик, резину, пенопласт, уголь и др.), мелких и средних камней. Не вскипает от HCl
Серогумусовые техногенные химически загрязненные почвы	AUXurx	Серый, тяжелый суглинок/легкая глина, структура комковатая, много корней, плотноватый, включения битого кирпича, обломков бетона, арматуры, древесины и др. Не вскипает от HCl

Повышенные по сравнению с фоном содержания Sb ( $K_c = 4.8$ ) и Zn ( $K_c = 2.5$ ) фиксируются в поверхностных горизонтах черноземов миграционно-мицелярных пологих приводораздельных склонов под залежами за пределами свалки, но, согласно полученным геохимическим данным, находящимся в сфере ее влияния (см. табл. 3). Содержания других элементов-загрязнителей (Cd, Ni, Pb) в черноземах находятся в пределах фона.

Результаты исследования содержаний ТМ, связанных с наиболее токсичными отходами КАЗа, в верхних 10 см почв и ТПО хронофункциональных зон свидетельствуют об очень неоднородном характере и высоких уровнях загрязнения Pb, Cd, Ni днища балки на отдельных участках (рис. 4).

В зоне экскавации, перемешивания и погребения отходов содержания ТМ в поверхностных

слоях-горизонтах ТПО рядом расположенных точек (т. 10–14) колеблются приблизительно в два раза, обнаруживая при этом высокие и чрезвычайно высокие содержания. Интервалы варьирования  $K_c$  элементов-загрязнителей составляют: Ni 29–67; Pb 68–192; Cd 625–1112. По величине превышения фонового уровня ТМ располагаются в следующий ряд Cd > Pb > Ni.

В зоне складирования отходов 1970–1990-х годов уровень загрязнения несколько ниже, а неоднородность загрязнения поверхности техногенных почв и ТПО днища балки выражена больше, чем в предыдущей зоне. Высокий уровень содержаний Cd, Pb, Ni отмечен в поверхностных горизонтах серогумусовых техногенных почв (т. 7–9). Интервалы варьирования  $K_c$  элементов здесь составляют: Ni 17–30; Pb 11–71; Cd 115–305. Наиболее высокие значения коэффициентов техногенной концентрации Cd

**Таблица 2.** Максимальные коэффициенты концентрации ТМ в почвах и ТПО свалки в период исследований 2000–2008 гг.

Год отбора образцов	Место отбора образцов	Pb	Cd	Ni	Zn	Cu
2000	Покатые приводораздельные склоны вне зоны складирования отходов	3	6	7	—*	5
	Днище балки, перекрытое отходами в зоне складирования	82	143	67	—	64
2006	Балочные склоны средней крутизны в зоне спорадического поверхностного замусоривания	5	35	3	2	2
	Днище балки. Техногенный микрорельеф в зоне экскавации, перемешивания и погребения отходов	208	375	34	125	60
2008	Днище балки. Техногенный микрорельеф в зоне экскавации, перемешивания и погребения отходов	143	710	18	—	—
	Днище балки в зоне спорадического поверхностного замусоривания	1	213	1	—	—
	Днища балок вне границ свалки	1	1	1	1	1

\* — не определялись.



( $K_c = 700$ ) и Ni ( $K_c = 49$ ) в этой зоне зафиксированы в верхних 10 см токсиндустратов. Содержание же Pb оказалось на уровне фонового содержания (т. 6).

В токсиндустратах зоны складирования отходов 1970–1990-х годов наряду с крайне аномальными содержаниями ТМ обнаружены и близкие к фоновым значения. Слабое загрязнение отмечено на участках, примыкающих к современному карьере (т. 4, 5), – они отличаются очень низкими концентрациями Pb и Ni (ниже фоновых). При этом содержание Cd ( $K_c = 1.5 - 2.3$ ) немного превышает фоно-

вые значения. Локальным фактором снижения уровней ТМ в токсиндустратах, по-видимому, стало “разбавление” верхнего горизонта ТПО незагрязненным материалом легкого гранулометрического состава при создании карьера.

В зоне спорадического поверхностного замусоривания вдоль подъездных путей свалки содержание Cd в токсиндустратах остается высоким:  $K_c = 9$ . Концентрации Pb и Ni снижаются до фоновых.

Очевидно, что такое распределение ТМ в почвах и ТПО выделенных хронофункциональных зон имеет техногенный характер и связано с хао-

**Таблица 3.** Показатели загрязнения ( $K_c$  и  $Z_c$ ) ТМ почв и ТПО дна балки в различных хронофункциональных зонах свалки, 2017 г.

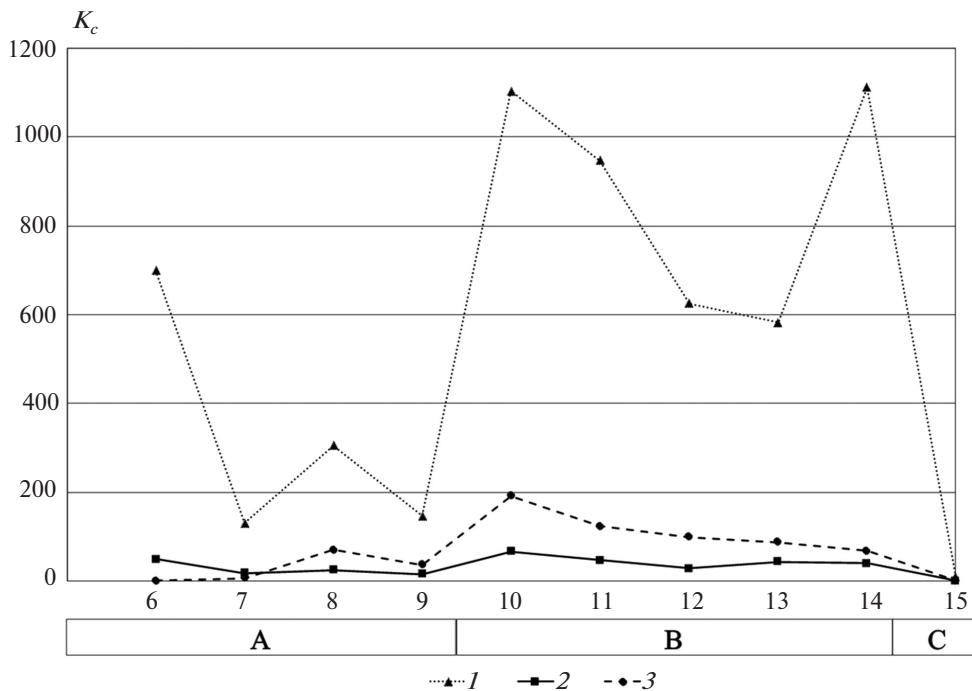
ТМ	Зона складирования отходов		Зона экскавации, перемешивания и погребения отходов	Зона спорадического поверхностного замусоривания	Пологие приводораздельные склоны вблизи границ свалки	Содержание элементов в фоновых почвах, мг/кг
	т. 7	т. 9	т. 13	т. 15	т. 16	
Коэффициенты техногенной концентрации ( $K_c$ )						
Cr	4.1	10.0	5.7	0.9	0.7	45.0
Ni	29.8	16.8	51.0	1.4	1.2	30.0
Cu	8.9	30.3	40.1	2.6	1.9	20.0
Zn	74.8	248.7	236.0	8.5	2.4	44.0
Cd	156.2	115.2	643.8	11.0	0.25	0.4
Sn	5.1	23.1	29.4	2.2	1.0	1.5
Sb	615.4	2040.2	1143.2	40.6	4.8	0.5
Pb	10.5	37.5	125.3	1.6	0.8	25.0
Суммарный показатель загрязнения тяжелыми металлами ( $Z_c$ )						
–	897.8	2514.8	2267.5	61.9	3.3	–

тичным загрязнением поверхности отходами КАЗа в ходе экскавации, перемещения и перемешивания грунта.

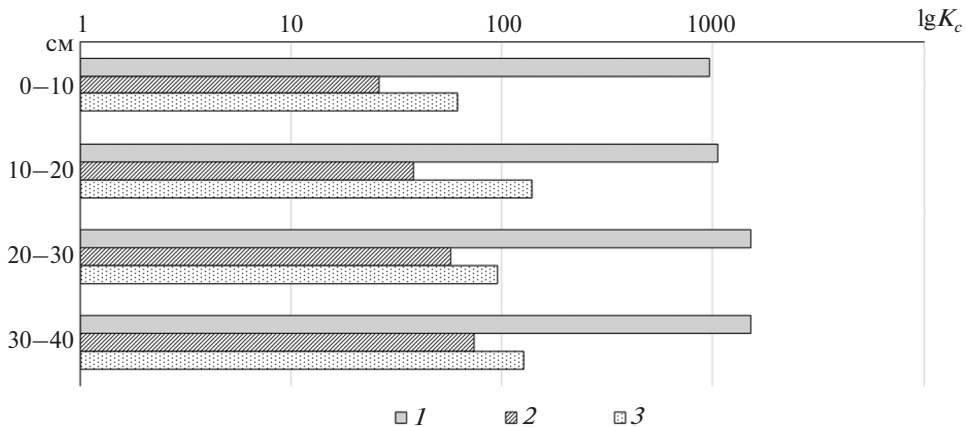
Сравнение результатов исследований 2008 г. (см. табл. 2) и 2017 г. (см. табл. 3, рис. 4) свидетельствует о сохранении высокого уровня загрязнения Cd, Pb и Ni почв и ТПО в зонах активного складирования отходов 1970–1990-х годов и их экскавации, перемешивания и погребения (т. 10–14). В 2017 г. по сравнению с 2006–2008 гг. в зоне экскавации, перемешивания и погребения зафиксированы более высокие содержания в поверхностных горизонтах ТПО

Cd и Ni. Увеличение содержаний ТМ в ТПО днища балки связано с неоднократным извлечением на дневную поверхность загрязненных техногенно-рекрементогенных отложений, а также с проведением инженерных работ на склонах и в днище в пределах этой вновь задействованной свалки с 2000-х годов.

Геохимические исследования 2017 г. показали, что максимальные концентрации ТМ в ТПО днища балки в настоящее время наблюдаются в зоне экскавации, перемешивания погребения отходов 2001–2011 гг. Средние значения  $K_c$  загрязнителей в верхних 10 см ТПО составляют



**Рис. 4.** Распределение  $K_c$  тяжелых металлов (1 – кадмия; 2 – никеля; 3 – свинца) в техногенных почвах и ТПО днища балки разных хронофункциональных зон: 6–15 – номера точек отбора проб; А – зона складирования отходов 1970–1990-х годов; В – зона экскавации, перемешивания и погребения отходов; С – зона поверхностного замусоривания в днище балки.



**Рис. 5.** Дифференциация  $K_c$  тяжелых металлов в профиле токсиндустрата: 1 – кадмия; 2 – никеля; 3 – свинца.

для Cd, Ni и Pb – 874, 42, 114 соответственно. Результаты анализа дифференциации Pb, Cd, Ni в вертикальном профиле токсиндустрата в этой зоне показали, что для всех элементов характерно чрезвычайно высокое содержание в слое 0–40 см (рис. 5). Обращает внимание существенное увеличение концентраций ТМ в ТПО с глубиной. В слое 30–40 см содержание Cd в 1.5 раза, Pb в 2 раза, Ni почти в 3 раза больше, чем в поверхностном слое (0–10 см). Такой уровень загрязнения ТПО сформировался в результате длительного складирования промышленных отходов с начала 1970-х годов и их экскавации на дневную поверхность в 2000-е годы. Увеличение загрязнения ТПО с глубиной позволяет полагать, что дальнейшая экскавация техногенно-рекрементогенных отложений может привести к росту загрязнения поверхности ТПО.

#### *Состояние травянистой растительности свалки (2017 г.)*

Геохимические исследования состояния травянистой растительности свалки проводились в условиях наибольшего загрязнения почв в зоне

экскавации, перемешивания и погребения отходов в 2001–2011 гг. Площадки 1–4 располагались в различных условиях техногенного микрорельефа: на склоне техногенной насыпи с преобладанием кипрея узколистного (пл. 1), на выровненных поверхностях микротеррас с разным проективным покрытием вейника наземного (пл. 2 и 3), в микропонижении между террасами (разреженная группировка злаково-осоковой растительности, пл. 4). Отбор образцов также проводился вне границ свалки в нижней части склона юго-западной экспозиции со злаково-разнотравными лугами сложного состава без видимых морфологических нарушений (пл. 5).

Коэффициенты техногенной концентрации ТМ в растительности, приведенные в табл. 4, свидетельствуют о высоких уровнях загрязнения растений в зоне экскавации и перемешивания отходов по сравнению с фоном. При этом растения злаково-осоковой группировки на пл. 4, концентрируют больше Cd и Sb, чем растительные сообщества, состоящие преимущественно из кипрея узколистного (пл. 1) и вейника наземного (пл. 2 и 3). Повышенное накопление этих

**Таблица 4.** Содержание (мг/кг) и коэффициенты техногенной концентрации ( $K_c$ ) тяжелых металлов в травянистой растительности свалки

№ площадки	Ni		Zn		Cd		Sb		Pb	
	C	$K_c$	C	$K_c$	C	$K_c$	C	$K_c$	C	$K_c$
1	17.1	5.7	119.7	3.9	0.62	10.3	0.45	15.5	4.3	5.3
2	3.3	1.1	241.0	7.8	0.80	13.3	0.15	5.2	2.4	3
3	7.8	2.6	249.0	8.0	0.73	12.2	0.16	5.5	2.6	3.1
4	12.6	4.2	219.0	7.1	2.7	45.0	1.06	36.6	3.2	4.0
5	3.0	1	35.0	1	0.6	10	0.05	1.7	2.6	3.1
Фон	3*	–	31*	–	0.06*	–	0.029**	1	0.8*	–
Нормальные концентрации по [24]	0–8	–	25–150	–	0–2	–	–	–	2–14	–

\* Содержания Cd, Ni, Zn, Pb в растительности Курской биосферной станции Института географии РАН (Курская обл., Медвенский р-н).

\*\* Фоновое содержание Sb в травянистой растительности по данным [19].

ТМ может быть связано как с индивидуальной способностью злаков и осок к избирательному поглощению химических элементов, так и с влиянием техногенного микрорельефа.

В злаково-разнотравной растительности нижней части склона за пределами свалки (пл. 5) концентрации всех ТМ за исключением Cd ( $K_c = 10$ ) существенно снижаются. Содержания Ni и Zn становятся равными фоновым значениям.

Высокие уровни загрязнения растительности всеми ТМ на пл. 1–4 и Cd на пл. 5 не привели к видимым морфологическим изменениям растений. Тем не менее, содержание Cd, Ni и Zn в растениях на пл. 4 и Zn на пл. 2 и 3 превышают диапазон нормальных концентраций ТМ [24].

### ВЫВОДЫ

1. На основе анализа разновременных ДДЗ выявлены 5 хронофункциональных зон на территории заброшенной свалки промышленных отходов в южном пригороде г. Курска, существенно различающихся по характеру техногенной трансформации ландшафтной структуры, содержанию и распределению ТМ в почвенно-растительном покрове. Выделены следующие зоны: I – складирования промышленных отходов 1970–1980-х годов; II – поверхностного замусоривания вдоль подъездных путей 1970–1980-х годов; III – экскавации и перемещения отходов с формированием техногенного микрорельефа 2001–2011 гг.; IV – стихийного складирования строительного и бытового мусора 2010-х годов; V – современные карьеры по добыче строительных материалов.

2. В почвенном покрове днища балки в условиях рекультивационного микрорельефа, представленного сложным сочетанием небольших насыпных валов, микротеррас и разделяющих их понижений, доминируют техногенные поверхностные образования – ТПО. В формате новой классификации почв России ТПО на мощных техногенно-рекрементогенных отложениях (5–7 м) отнесены к токсииндустратам стратифицированным. В зоне складирования промышленных отходов 1965–1990-х годов, где задерновывание поверхности рекультивационного грунта не нарушалось в течение 10 лет, формируются серогумусовые техногенные химически загрязненные (слаборазвитые дерновые) на маломощных (до 1 м) техногенно-рекрементогенных отложениях.

3. Мониторинговые геохимические исследования (2000–2017 гг.) показали высокую пространственно-временную неоднородность распределения ТМ в почвенно-растительном покрове свалки. Наибольший уровень загрязнения

выявлен в зонах складирования промышленных отходов 1970–1990-х годов и экскавации, перемешивания и погребения спустя 10 лет после официального закрытия свалки. Содержания ТМ в токсииндустратах стратифицированных и серогумусовых техногенных химически загрязненных почвах превышают фоновые значения в десятки и сотни (Pb, Ni, Zn), в сотни и тысячи (Cd, Sb) раз. Степень загрязнения ТПО оценивается как чрезвычайно опасная по принятым нормативам ( $Z_c > 128$ ).

Одновременно в этих зонах фиксируются высокие уровни накопления ТМ в травянистой растительности. Максимальные коэффициенты концентрации ТМ в растениях образуют ряд:  $Cd_{45} > Sb_{37} > Zn_8 > Pb, Ni_5$ .

4. Изменения геохимических показателей почв не ограничиваются пределами отведенной территории складирования промышленных отходов. Повышенными концентрациями Sb (почти в 5 раз выше фона) и Zn (в 2.5 раза выше фона) характеризуются поверхностные горизонты черноземов миграционно-мицелярных на пологих приводораздельных склонах под залежами, примыкающих к свалке.

5. После прекращения эксплуатации свалки и ее консервации почвы и ТПО с чрезвычайно высоким уровнем загрязнения ТМ ( $Z_c$  от 898 до 2515) становятся “химическими бомбами замедленного действия” и могут представлять потенциальную экологическую опасность для среды и населения.

### ФИНАНСИРОВАНИЕ

Исследование выполнено по темам ГЗ № 0148-2019-0010 (НИОКТР АААА-А19-119022190168-8 – дистанционный мониторинг, тематическое картографирование), 0148-2019-0006 (НИОКТР АААА-А19-119022190169-5 – диагностика почв, ландшафтно-геохимический мониторинг) и 0148-2019-0007 (НИОКТР АААА-А19-119021990093-8 – обработка и синтез материалов ландшафтно-геохимических полевых исследований), также в рамках ГЗ Почвенного института им. В.В. Докучаева № 0591-2019-0024.

### FUNDING

The work was carried out within the framework of the state-ordered research themes of the Institute of Geography RAS, no. 0148-2019-0010 (remote monitoring, thematic mapping), no. 0148-2019-0006 (soil diagnostics, landscape-geochemical monitoring), and no. 0148-2019-0007 (processing of landscape-geochemical field research materials), the state-ordered research themes of the V.V. Dokuchaev Soil Science Institute, no. 0591-2019-0024.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Абросимов А.В., Никольский Д.Б., Шешукова Л.В.* Использование космических снимков и геоинформационных технологий для мониторинга мест складирования отходов // *Геоматика*. 2013. № 1. С. 38–43.
2. *Арепьева Л.А.* Фитоценозы несанкционированных свалок на урбанизированных территориях Курской области // *Уч. зап.: электронный науч. журн. Курского гос. ун-та*. 2013. № 4 (28). С. 34–41.
3. *Бровкина О.В., Скорописов Д.Ю.* Мониторинг свалок твердых бытовых и промышленных отходов на примере территории Кронштадтского района г. Санкт-Петербурга // *Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса*. 2012. Т 9. № 1. С. 153–155.
4. Доклад “О состоянии и охране окружающей среды на территории Курской области в 2017 г.”. Курск. 2017. 158 с.
5. *Исламгулова А.Ф., Жумабекова Р., Косолапова М.В., Скакова О.Н.* Мониторинг полигонов твердых бытовых отходов и буферных зон на основе данных дистанционного зондирования Земли // *Вестн. КазНУ. Сер. геог.* 2016. № 2 (43). С. 90–97.
6. Классификация и диагностика почв России. Смоленск: Ойкумена, 2004. 342 с.
7. Классификация и диагностика почв СССР М.: Колос, 1977. 224 с.
8. *Ладонин Д.В.* Формы соединений тяжелых металлов в техногенно-загрязненных почвах. Автореф. дис. ... д-ра биол. наук. М., 2016. 42 с.
9. *Лебедь-Шарлевич Я.И.* Оценка и прогноз газогеохимического состояния и экологических функций почв на техногенных грунтах (на примере г. Москвы). Автореф. дис. ... канд. биол. наук. М., 2017. 27 с.
10. *Липилин Д.А.* Распределение и динамика объектов размещения твердых бытовых отходов на территории Краснодарского края. Автореф. дис. ... канд. геог. наук. Краснодар, 2014. 23 с.
11. *Майорова О.В.* Возможности использования материалов дистанционных съемок при обращении с ТБО на территориальном уровне // *Изв. ВУЗов. Сер. “Геодезия и картография”*. 2011. № 3. С. 70–74.
12. Методические рекомендации по геохимической оценке загрязнения территории городов химическими элементами. М.: ИМГРЭ, 1982. 112 с.
13. *Прокофьева Т.В., Мартыненко И.А., Иванников Ф.А.* Систематика почв и почвообразующих пород Москвы и возможность их включения в общую классификацию // *Почвоведение*. 2011. № 5. С. 611–623.
14. Территориальная схема обращения с отходами, в том числе, с твердыми коммунальными. Курская область. Утверждена комитетом жилищного хозяйства и ТЭК Курской области 28.10.2016. [https://adm.rkursk.ru/index.php?id=665&mat\\_id=61061](https://adm.rkursk.ru/index.php?id=665&mat_id=61061)
15. *Титова А.Г.* Анализ геоэкологического воздействия свалок твердых бытовых отходов на компоненты окружающей среды с использованием геоинформационных технологий // *География, экология, туризм: научный поиск студентов и аспирантов: Материалы IV Всерос. науч.-практ. конф.* Тверь: Твер. гос. ун-т, 2016. С. 71–74.
16. *Шибалова Г.В.* Использование геоинформационных технологий для мониторинга мест складирования отходов // *Природообустройство*. 2015. № 3. С. 22–26.
17. *Beaumont B., Radoux J., Defourny P.* Assessment of airborne and spaceborne thermal infrared remote sensing for detecting and characterizing landfills. 2014. V. 180. P. 237–248. doi: 10.2495/WM140201
18. *Biottoa G., Silvestria S., Gobboa L., Furlana E., Valentia S., Rossellia R.* GIS, multi-criteria and multi-factor spatial analysis for the probability assessment of the existence of illegal landfills // *Int. J. Geogr. Inform. Sci.* 2009. V. 23. № 10. P. 1233–1244.
19. *Laul J.C., Weimer W.C., Rancitelli L.A.* Biogeochemical distribution of rare earth elements and other trace elements in plants and soils // *Phys. Chem. Earth*. 1979. V. 11. P. 819–827.
20. *Mahmood K., Batool A., Faizi F., Chaudhry M.N., Ul-Haq Z., Rana A.D., Tariq S.* Bio-thermal effects of open dumps on surroundings detected by remote sensing-Influence of geographical conditions // *Ecol. Indicators*. 2017. V. 82. P. 131–142.
21. *Manzo C., Mei A., Zampetti E., Bassani C., Paciucci L., and Manetti P.* Top-down approach from satellite to terrestrial cover application for environmental monitoring of landfills // *Sci. of The Total Env.* 2017. V. 584–585. P. 1333–1348.
22. *Silvestri S., Omri M.* A method for the remote sensing identification of uncontrolled landfills: formulation and validation // *Int. J. of Remote Sensing*. 2008. № 4 (29). P. 975–989.
23. *Zakhem K., Jahjah S., Zakhem G., Ibrahim E.* Investigating the evolution of Naameh landfill and its surrounding vegetation using multispectral spaceborne imagery // *Advances in Computational Tools for Engineering Applications (ACTEA)*. 2016 3rd International Conference On (IEEE). 2016. P. 72–77.
24. *Verloo M., Willaert G., Cottenie A.* Determination of the Upper Critical Levels of Heavy Metals in Plants and Soils // *Stud. in Env. Sci.* 1986. V. 29. P. 207–215.

## REFERENCES

1. Abrosimov A.V., Nikolskiy D.B., Sheshukova L.V. Satellite images and GIS technologies for monitoring waste storage places. *Geomatika*, 2013, no. 1, pp. 38–43. (In Russ.).
2. Arep'eva L.A. The plant communities of unauthorized dumps in urban territories of Kursk region. *Uch. Zap.: Electr. Nauch. Zh. Kursk Gos. Univ. Nauki o Zemle.*, 2013, vol. 28, no. 4, pp. 34–41. (In Russ.).

3. Brovkina O.V., Skoropisov D.Yu. Remote sensed monitoring of dumps (in Kronshtadt district of Saint-Petersburg). *Sovr. Probl. DZZ Kosm.*, 2012, vol. 9, no. 1, pp. 153–155. (In Russ.).
4. *Doklad "O sostoyanii i okhrane okruzhayushchei sredy na territorii Kurskoi oblasti v 2017 godu"* [Report "On the State and Protection of Environment in Kursk Oblast in 2017"]. Kursk: Administratsiya Kurskoi Oblasti, 2017. 158 p.
5. Islamgulova A.F., Zhumabekova R., Kosolapova M.V., Skakova O.N. Monitoring of landfills and buffer zones based on earth remote sensing data. *Vestn. Kazakhskogo Natsionaln. Univ., Ser. Geogr.*, 2016, vol. 43, no. 2, pp. 90–97. (In Russ.).
6. *Klassifikatsiya i diagnostika pochv Rossii* [Classification and Diagnostics of Soils of Russia]. Smolensk: Oikumena Publ., 2004. 342 p.
7. *Klassifikatsiya i diagnostika pochv SSSR* [Classification and Diagnostics of Soils of the Soviet Union]. Moscow: Kolos Publ., 1977. 224 p.
8. Ladonin D.V. Forms of heavy metal compounds in technologically polluted soils. *Extended Abstract of Doctoral (Biol.) Dissertation*. Moscow: Moscow State Univ., 2016. 42 p.
9. Lebed'-Sharlevich Ya.I. The estimate and projection of gas-geochemical state and ecological functions of soils on technogenic soils (on the example of Moscow). *Extended Abstract of Cand. Sci. (Biol.) Dissertation*. Moscow: Moscow State Univ., 2017. 27 p.
10. Lipilin D.A. Distribution and dynamics of landfills disposal facilities in the Krasnodar region. *Extended Abstract of Cand. Sci. (Geogr.) Dissertation*. Krasnodar: Kuban State Univ., 2014. 23 p.
11. Maiorova O.V. Possibilities of using remote sensing materials when handling solid household waste at the territorial level. *Izv. VUZov, Ser. Geodeziya i Kartografiya*, 2011, no. 3, pp. 70–74. (In Russ.).
12. *Metodicheskie rekomendatsii po geokhimicheskoi otsenke zagryazneniya territorii gorodov khimicheskimi elementami* [Methodic Recommendations for Geochemical Assessment of Pollution of Urban Areas with Chemical Elements]. Moscow: IMGRE Publ., 1982. 112 p.
13. Prokofyeva T.V., Martynenko I.A., Ivannikov F.A. Classification of Moscow soils and parent materials and its possible inclusion in the classification system of Russian soils. *Euras. Soil Sci.*, 2011, no. 5, pp. 611–623. doi 10.1134/S1064229311050127
14. The Territorial Scheme of Waste Management, Including Municipal Solid Waste. Kursk Region. Approved by the Committee on Housing and Fuel and Energy of Kursk Region on 28 October 2016. Available at: [https://adm.rkursk.ru/index.php?id=665&mat\\_id=61061](https://adm.rkursk.ru/index.php?id=665&mat_id=61061) (accessed: 08.08.2019). (In Russ.).
15. Titova A.G. Analysis of the geo-ecological impact of municipal solid waste landfills on environmental components using geoinformation technologies. In *Geografiya, ekologiya, turizm: nauchnyi poisk studentov i aspirantov: materialy IV Vseross. n.-p. konf.* [Geography, Ecology, Tourism: Research by Students: IV All-Russian Sci. Conf. Materials]. Tver: Tverskoi Gos. Univ., 2016, pp. 71–74. (In Russ.).
16. Shibalova G.V. Usage of geoinformation technologies for monitoring the places of wastes storing. *Prirodobustroistvo*, 2015, no. 3, pp. 22–26. (In Russ.).
17. Beaumont B., Radoux J., Defourny P. Assessment of airborne and spaceborne thermal infrared remote sensing for detecting and characterizing landfills. *WIT Trans. Ecol. Environ.*, 2014, vol. 180, pp. 237–248.
18. Biottoa G., Silvestria S., Gobboa L., Furlana E., Valentia S., Rossellia R. GIS, multi-criteria and multi-factor spatial analysis for the probability assessment of the existence of illegal landfills. *Int. J. Geogr. Inf. Sci.*, 2009, vol. 23, no. 10, pp. 1233–1244.
19. Laul J.C., Weimer W.C., Rancitelli L.A. Biogeochemical distribution of rare earth elements and other trace elements in plants and soils. *Phys. Chem. Earth*, 1979, vol. 11, pp. 819–827.
20. Mahmood K., Batool A., Faizi F., Chaudhry M.N., Ul-Haq Z., Rana A.D., Tariq S. Bio-thermal effects of open dumps on surroundings detected by remote sensing-Influence of geographical conditions. *Ecol. Indic.*, 2017, vol. 82, pp. 131–142.
21. Manzo C., Mei A., Zampetti E., Bassani C., Paciucci L., Manetti P. Top-down approach from satellite to terrestrial rover application for environmental monitoring of landfills. *Sci. Total Environ.*, 2017, vol. 584–585, pp. 1333–1348. doi 10.1016/j.scitotenv.2017.01.033
22. Silvestri S., Omri M. A method for the remote sensing identification of uncontrolled landfills: formulation and validation. *Int. J. Remote Sens.*, 2008, vol. 29, no. 4, pp. 975–989.
23. Zakhem K., Jahjah S., Zakhem G., Ibrahim E. Investigating the evolution of Naameh landfill and its surrounding vegetation using multispectral spaceborne imagery. In *2016 3rd Int. Conf. on Advances in Computational Tools for Engineering Applications (ACTEA)*. IEEE, 2016, pp. 72–77. doi 10.1109/ACTEA.2016.7560115
24. Verloo M., Willaert G., Cottenie A. Determination of the upper critical levels of heavy metals in plants and soils. *Stud. Environ. Sci.*, 1986, vol. 29, pp. 207–215.

## Remote Sensing and Geochemical Monitoring of Soils and Vegetation Cover of Industrial Waste Dumping Site (Kursk Region)

I. V. Zamotaev<sup>1,\*</sup>, N. O. Telnova<sup>1,\*\*</sup>, O. V. Kaidanova<sup>1</sup>, T. I. Borisochkina<sup>2</sup>,  
and S. B. Suslova<sup>1</sup>

<sup>1</sup> *Institute of Geography, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia*

<sup>2</sup> *V.V. Dokuchaev Soil Science Institute, Moscow, Russia*

\**e-mail: zivigran@yandex.ru*

\*\**e-mail: Telnova@igras.ru*

Received October 19, 2018; revised April 4, 2019; accepted May 30, 2019

The paper summarizes results of long-term remote sensing and geochemical monitoring of soils and vegetation cover influenced with abandoned industrial waste dumping site at the southern periphery of Kursk city. Analysis of prolonged image time series (1954–2018) has resulted in the reconstruction of natural landscape pattern in study area, mapping the expansion of waste deposit area under the period of active exploitation, delineation of five historic-functional zones of the dumping site. These zones are featured with different age and type of technogenic transformations in landscape structure, particular levels of heavy metals' content and their distribution in soils and vegetation. Studies of spatial pattern and long-term (2000–2017) changes in contamination of soils and technogenic surface formations with heavy metals revealed that the maximum level of soil and vegetation pollution with heavy metals (Pb, Cd, Ni, Zn, Cu, Sb) is fixed for the zone of excavation, mixing and secondary burying of industrial wastes in 2000s. Increased concentrations of Sb and Zn still persist in surface soil layers of chernozems outside the territory of abandoned dumping site.

**Keywords:** anthropogenic-transformed soils, technogenic surface formations, industrial waste dumping site, vegetation, heavy metals, time series of remote sensing data.

**DOI:** <https://doi.org/10.31857/S2587-55662019596-110>