ГЕОГРАФИЯ И ПРИРОДНЫЕ РЕСУРСЫ 2024 № 3 С. 81–90

Научный журнал https://sibran.ru/journals/GIPR/

ОХРАНА ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

УДК 550.77 DOI: 10.15372/GIPR20240308

Т.А. ТРИФОНОВА*,, О.Г. СЕЛИВАНОВ**, А.А. МАРЦЕВ**, И.Н. КУРОЧКИН**, Ю.Н. КУРБАТОВ****

*Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова,
119991, Москва, Ленинские горы 1–12, Россия, tatrifon@mail.ru
**Владимирский государственный университет им. А.Г. и Н.Г. Столетовых,
600000, Владимир, ул. Горького, 87, Россия, tatrifon@mail.ru, selivanov6003@mail.ru,
martsevaa@yandex.ru, ivan33vl@yandex.ru, iur.curbatov@gmail.com

ОЦЕНКА ХИМИЧЕСКОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ В РАЙОНЕ РЕКУЛЬТИВИРУЕМОГО ПОЛИГОНА ТБО НА ТЕРРИТОРИИ ВЛАДИМИРСКОГО ОПОЛЬЯ

В работе представлены результаты исследований химического загрязнения почвенного покрова и поверхностных вод в районе рекультивируемого полигона ТБО, расположенного в границах Владимирского Ополья. В результате проведенного исследования выявлено, что наиболее высокое валовое содержание тяжелых металлов в почве, превышающее значения ПДК, наблюдается вблизи полигона ТБО на расстоянии 80–120 м. По мере удаления от полигона концентрации металлов снижаются до значений ниже ПДК. Накоплению тяжелых металлов здесь способствовали такие факторы, как стихийное горение ТБО на полигоне, воздушный перенос аэрополлютантов, а также особенности серой лесной почвы, такие как содержание органического вещества, pH и гранулометрический состав. В поверхностных водах, протекающих в непосредственной близости от полигона ТБО, установлено превышение значений ПДК по ряду тяжелых металлов; по цинку, кадмию и меди — в десятки раз. Анализ ионного состава поверхностных вод показал наличие химического загрязнения, особенно по фосфат- и фторид-ионам, что, вероятно, связано с попаданием сюда фильтрационных вод полигона ТБО. Инженерная необустроенность данного полигона ТБО и отсутствие четкого механизма рекультивационных мероприятий существенно увеличивают опасность загрязнения почвенного покрова прилегающих территорий и поверхностных водотоков опасными химическими соединениями. Для контроля состояния окружающей среды в интересах безопасности проживающего здесь населения и сохранения уникальной экосистемы Владимирского Ополья вблизи данного закрытого рекультивируемого полигона рекомендуется проводить регулярные мониторинговые экологические наблюдения.

Ключевые слова: *полигон ТБО, рекультивация, окружающая среда, почвенный покров, поверхностные воды, тяжелые металлы, ионный состав воды, экологическая безопасность.*

T.A. TRIFONOVA*,, O.G. SELIVANOV**, A.A. MARTSEV**, I.N. KUROCHKIN**, Yu.N. KURBATOV****

*Lomonosov Moscow State University,
119991, Moscow, Leninskie Gory, 1–12, Russia, tatrifon@mail.ru
**A.G. and N.G. Stoletovs Vladimir State University,
600000, Vladimir, ul. Gor'kogo, 87, Russia, tatrifon@mail.ru, selivanov6003@mail.ru,
martsevaa@yandex.ru, ivan33vl@yandex.ru, iur.curbatov@gmail.com

CHEMICAL CONTAMINATION ASSESSMENT IN THE AREA OF THE RECLAIMED SOLID WASTE LANDFILL WITHIN THE BOUNDARIES OF VLADIMIR OPOLIE

This paper presents results from studying chemical contamination of soil and surface water in the area of the reclaimed solid waste landfill located within the boundaries of Vladimir Opolie. The study showed that the highest concentrations of bulk forms of heavy metals in soil cover, exceeding the MPC values, are observed near the solid waste landfill at a distance of 80–120 m. With distance from the landfill, the concentrations of metals in soil cover decrease to values below the MPC. The accumulation of heavy metals here was facilitated by factors such as spontaneous combustion of solid waste at the landfill, air

transport of aeropollutants as well as the characteristics of gray forest soil, such as the content of organic matter, pH and granulometric composition. In surface waters flowing in the immediate vicinity of the solid waste landfill, an excess of MPC values for a number of heavy metals was established; for zinc and copper, by a factor of several tens. An analysis of the ionic composition of surface waters showed the presence of chemical contamination which is likely due to the ingress of seepage water from the solid waste landfill. The engineering inadequacy of this solid waste landfill and the lack of a clear mechanism for reclamation measures significantly increase the risk of contamination of soil cover of adjacent territories and surface watercourses with hazardous chemical compounds. To monitor the state of the environment in the interests of the safety of the population living here and the preservation of the unique ecosystem of Vladimir Opolie near this closed reclaimed landfill, it is recommended that regular environmental monitoring observations should be conducted.

Keywords: *solid waste landfill, reclamation, environment, soil cover, surface water, heavy metals, ionic composition of water, environmental securuty.*

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время одной из основных экологических проблем любого региона нашей страны является накопление, размещение и утилизация твердых бытовых и промышленных отходов. Их количество с каждым годом растет, что наносит значительный вред окружающей среде.

Образование и накопление отходов влечет за собой необходимость отчуждения больших площадей земель для организации полигонов по их размещению, а также служит причиной стихийного появления несанкционированных свалок. Большая часть отходов на сегодня размещается на свалках и полигонах ТБО, имеющих продолжительный период эксплуатации (десятки лет), со временем перестающих отвечать экологическим и санитарно-эпидемиологическим требованиям безопасности, а также не соответствующих требованиям по инженерному обустройству [1, 2]. Старые полигоны ТБО, практически исчерпавшие свой эксплуатационный ресурс, с целым комплексом экологических проблем, представляют реальную экологическую угрозу. Поэтому их необходимо выводить из эксплуатации и закрывать, проводя обязательные работы по рекультивации. В противном случае неизбежны серьезные аварийные ситуации, обусловленные продолжающимися внутри тела полигона процессами распада органической составляющей отходов, газообразованием, а также выделением фильтрационных вод, содержащих большое количество опасных загрязнителей [3–5]. Свалочное тело даже после закрытия полигона в отсутствии рекультивационных работ из-за протекающих внутри процессов является источником повышенной опасности. Зачастую подобные полигоны находятся вблизи населенных пунктов, садовых некоммерческих товариществ (СНТ) и коттеджных поселков. Люди, проживающие рядом с такими полигонами, становятся практически заложниками их негативного воздействия [6, 7].

По данным за 2022 г., во Владимирской области в государственный реестр объектов размещения отходов включены восемь объектов для твердых коммунальных и один объект для промышленных отходов. При этом 13 объектов размещения отходов на территории Владимирской области в настоящее время подлежат рекультивации [8]. Среди них особое место занимает закрытый полигон ТБО, расположенный вблизи с. Новоалександрово Суздальского района, на который длительное время вывозились отходы областного центра и близлежащих населенных пунктов. Это самый крупный рекультивируемый полигон во Владимирской области, который неоднократно подвергался закрытию и, в силу различных обстоятельств, вновь открывался. Этому способствовали как близость к г. Владимиру — основному поставщику больших объемов ТБО, так и отсутствие на тот момент в регионе новых мусороперерабатывающих комплексов и полигонов. До начала проведения работ по рекультивации полигон неоднократно горел. Дымный смог и сильный свалочный запах неоднократно вызывали стихийные протесты жителей населенных пунктов, расположенных в округе.

В настоящее время рекультивация полигона идет с частичным использованием твердых коммунальных и промышленных отходов 4–5 классов опасности, что допускается существующим проектом по рекультивации. Соответственно, потенциальная экологическая опасность данного объекта существует до сих пор.

Следует отметить, что указанный объект расположен на территории Владимирского Ополья — уникального природного района, отличающегося, прежде всего, богатыми плодородными серыми лесными почвами. Размещение и функционирование подобных объектов несет риски не только проживающему здесь населению, но и уникальной экосистеме в целом.

Таким образом, представляется актуальным изучение экологической опасности данного полигона ТБО (как одного из многих) в контексте его влияния на состояние окружающей природной среды. Цель данного исследования — оценка химического загрязнения почвенного покрова и водотоков, расположенных вблизи полигона ТБО.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ

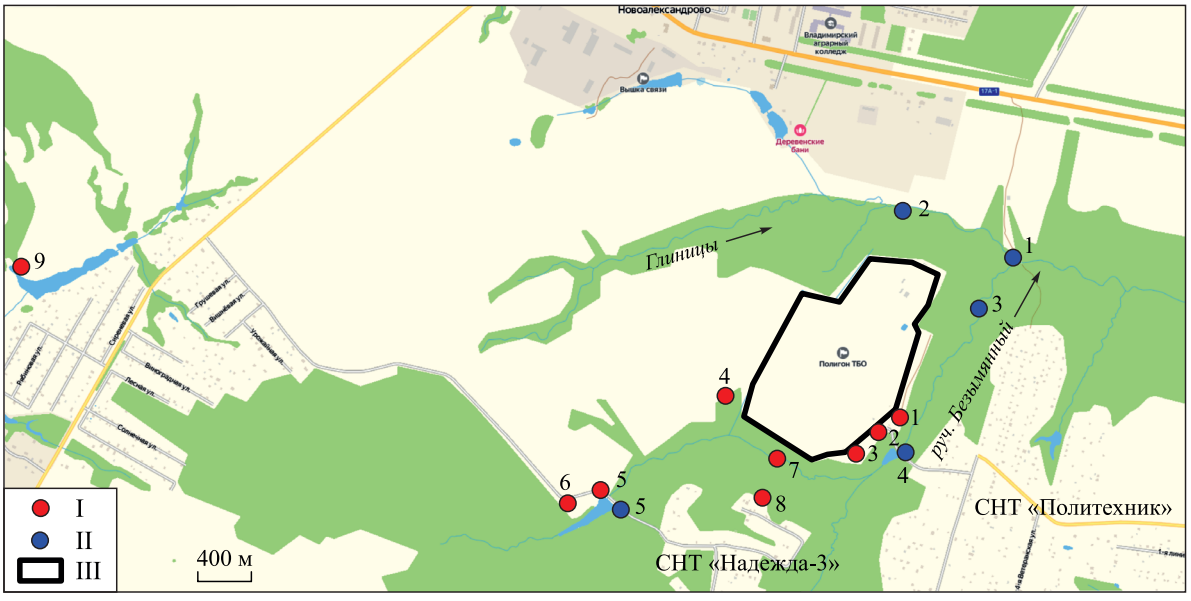
В исследовании изучалось состояние почвенного покрова и поверхностных вод р. Глиницы и руч. Безымянного вблизи рекультивируемого муниципального полигона ТБО на предмет химического загрязнения. Данный объект расположен в Суздальском районе Владимирской области в 1 км от с. Новоалександрово (56.211073° с. ш., 40.274062° в. д.), на территории площадью в 28,4 га. Полигон ТБО находится в природном районе Владимирское Ополье на овражистом волнисто-увалистом плато с абс. высотой 158 м на богатых гумусом серых лесных почвах. Климат в данном районе континентальный. Пониженное количество летних осадков в Ополье, по сравнению с другими территориями Владимирской области, в сочетании с более высокими температурами вызывает заметный дефицит влаги, который усугубляется обилием в данной местности оврагов, значительно усиливающих сток. По лесорастительным условиям данная территория относится к зоне смешанных лесов.

Полигон ТБО функционирует с 1967 г. С момента создания он неоднократно закрывался (1986 и 2014 гг.). В 2006 г. был утвержден и введен в действие проект его рекультивации, предусматривающий поэтапное снижение негативного воздействия на окружающую среду на территории региона. Данным проектом предусмотрено создание противофильтрационного экрана, обустройство дренажной системы для сбора фильтрата. Для предотвращения возгорания свалки в проекте заложена пересыпка отходов грунтом и создание системы сбора и отвода биогаза с тела полигона.

В 2008 г. была проведена корректировка проекта «Рекультивация отработанных площадей существующей свалки ТБО с доработкой свободных участков по высотной схеме в районе с. Новоалександрово Суздальского района Владимирской области» с целью повышения эффективности рекультивации путем более полного использования отведенной площади складирования и увеличения высоты складирования отходов. Проектом предусмотрены природоохранные мероприятия (сбор дождевых стоков и фильтрата, мероприятия по охране подземных и поверхностных вод от загрязнения и пр.), которые должны обеспечить допустимое воздействие на окружающую среду.

В настоящее время полигон находится на стадии рекультивации. На полигоне установлены газоотводные трубы, дренаж для фильтрата, идет уплотнение ТБО с применением новой современной техники, уменьшающей объем коммунального мусора в семь раз. У свалки есть глиняный экран, дамба, каждые два метра мусора пересыпаются 25-сантиметровым слоем земли. На сегодня объект не числится в Государственном реестре объектов размещения отходов, а также в территориальной схеме обращения с ТКО по Владимирской области.

Места отбора проб почвы и воды поверхностных источников представлены на рисунке. В качестве контрольной выбрана точка № 9, расположенная на расстоянии 2430 м от полигона ТБО.



Места отбора проб почвы и воды поверхностных источников вблизи рекультивируемого полигона ТБО в районе р. Глиницы и руч. Безымянного.

Места отбора проб: I — воды из р. Глиницы и руч. Безымянного (1–5), II — почв (1–8). III — границы полигона ТБО.

Почвы в данном районе характеризуются как серые лесные суглинистые, гумусовый горизонт (А1) до 20 см, содержание гумуса колеблется в пределах 3–6 %, содержание физической глины (<0,01 мм) — 40–50 %, емкость поглощения катионов 10–40 мг-экв/100 г, при этом в составе обменных катионов находятся в основном кальций и магний. Степень насыщенности основаниями превышает 70–80 %, в связи с чем серые лесные почвы имеют слабокислую и нейтральную среду [9].

Отбор образцов почв и воды проводили в июле 2023 г. в соответствии с ГОСТ Р 58595-2019 [10] и ГОСТ Р 51592-2000 [11]. Точечные пробы почвы отбирали буром на глубине 10–15 см.

Пробоподготовку к анализу почв производили в соответствии с ГОСТ 14.4.02-84 [12].

Определение pH и удельной электрической проводимости водных вытяжек образцов почв и воды поверхностных источников проводили с помощью pH-метра Mettler Toledo Seven Compact S220 и кондуктометра Mettler Toledo Seven Compact S230 согласно ГОСТу 26423-85 [13].

Определение валового содержания тяжелых металлов (ТМ), таких как кобальт, никель, свинец, медь, хром, цинк, а также металлоида мышьяка в почве проводили рентгенофлуоресцентным методом с использованием спектрометра «Спектроскан МАКС-G» в соответствии с методикой М-049-ПДО/18 [14].

Для оценки уровня загрязнения почв тяжелыми металлами и мышьяком был использован коэффициент опасности (K_o), который рассчитывали по формуле

$$K_o = \frac{C_i}{\text{ПДК}_i/\text{ОДК}_i},$$

где C_i — концентрация металла и мышьяка в почве, мг/кг; ПДК_i — предельно допустимая концентрация ТМ и мышьяка в почве, мг/кг.

Предельно допустимые концентрации ТМ и мышьяка в почве (ПДК_i) и ориентировочно допустимые концентрации (ОДК_i) рассчитаны согласно СанПиН 1.2.3685-21 [15].

Определение концентраций тяжелых металлов в воде проводили в соответствии с методикой М-049-ВП/09 [16], а концентраций катионов аммония, натрия, калия, магния, кальция и анионов хлоридов, сульфатов, нитратов, фторидов и фосфатов в воде — по методикам М 01-31-2011 [17] и М 01-58-2018 [18]. Оценку содержания химических элементов в исследуемых пробах осуществляли в соответствии с приказом Министерства сельского хозяйства РФ от 13.12.2016 [19].

Статистическую обработку данных проводили в программе Microsoft Office Excel.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Химическое загрязнение почв. Известно, что чем выше щелочность почвы, тем ниже подвижность и миграционная способность тяжелых металлов [20]. Согласно данным табл. 1, значения водородного показателя почвенной среды в местах отбора проб преимущественно варьируют в диапазоне 6,65–7,32, что характеризует ее как нейтральную и слабощелочную. Наиболее высокий pH имеют образцы почвы № 1–4, отобранные непосредственно вблизи полигона — на расстоянии до 100 м. Вероятно, это связано с попаданием частиц золы дымовых выбросов во время горения ТБО на почвенный покров прилегающих территорий. При таких значениях pH почвы тяжелые металлы малоподвижны, находятся в инертных формах (оксидных, гидроксидных) и постепенно накапливаются [21].

Таблица 1

Результаты определения pH водных вытяжек и удельной электропроводности образцов отобранных проб почвы в районе р. Глиницы и руч. Безымянного вблизи рекультивируемого муниципального полигона ТБО

№ точки отбора пробы	pH, ед.	Удельная электропроводность, мкСм/см
1	7,11	303,80
2	7,28	206,40
3	7,32	193,60
4	7,26	206,40
5	6,80	186,10
6	6,65	133,00
7	6,17	160,05
8	6,30	147,40
9	6,67	86,12

Примечание. Точки отбора — см. рисунок.

Удельная электропроводность водных вытяжек образцов почв находится в диапазоне значений 86,12–303,80 мкСм/см и представляет собой количественную характеристику любых присутствующих химических водорастворимых веществ в почве (щелочей, кислот, солей органических и неорганических соединений, в состав которых могут входить и тяжелые металлы). Наибольшей электропроводностью характеризуются образцы почв в точках отбора № 1–4 (расстояние от границы полигона ТБО до 100 м). Это может свидетельствовать о более сильном химическом загрязнении на данной территории. С увеличением расстояния от полигона ТБО до 550–750 м

(точки отбора проб № 5 и 6) на открытой местности и 100–200 м (точки отбора проб № 7 и 8) в лесной местности удельная электропроводность уменьшается до значений 147,4–186,1 мкСм/см.

Содержание многих тяжелых металлов в серой лесной почве в несколько раз выше, чем, например, в преобладающих во Владимирской области дерново-подзолистых почвах, что обусловлено наличием тонкодисперсных фракций. В серых лесных почвах Владимирского Ополья, в границах которого расположен полигон ТБО, их содержание составляет около 11 % от суммы гранулометрических фракций. Глинистые минералы способны удерживать тяжелые металлы в результате обменного и физико-химического поглощения. Элементы-загрязнители, обладая высокой координационной валентностью, активнее поглощаются глинистыми минералами, что способствует их накоплению, при этом насыщенность тонкодисперсных фракций тяжелыми металлами в серых лесных почвах возрастает в ряду: средняя пыль > тонкая пыль > ил [22].

В табл. 2 приведены полученные данные по валовому содержанию тяжелых металлов в почве в районе рекультивируемого полигона ТБО, а также по ПДК и ОДК для определяемых тяжелых металлов.

Концентрации токсикантов в исследуемых почвах находятся в следующих диапазонах (min → max): As 5,87–9,93; Co 8,31–14,55; Ni 22,61–40,05; Pb 14,43–102,77; Cu 21,61–122,27; Cr 78,37–115,46; Zn 58,25–242,61 мг/кг. Отмечаем, что самые высокие концентрации химических элементов установлены вблизи полигона ТБО в точке 4 (расстояние от полигона — 75 м), в точках 1–3 (расстояние 80–120 м). В точке 9 валовое содержание тяжелых металлов значительно меньше. Особо следует отметить высокие концентрации тяжелых металлов в точке 4, что, очевидно, связано с локальным химическим загрязнением. Причиной загрязнения почвы вблизи полигона, в первую очередь, являются стихийные пожары и горение ТБО, вызванные образованием в теле полигона биогаза. Неконтролируемое горение, помимо сильного свалочного запаха, не только приводит к выделению в атмосферу вредных органических веществ, но и способствует выносу тяжелых металлов, сорбированных на частицах золы.

Токсическую опасность загрязнения почвы оценивали по степени превышения содержания величины ПДК (ОДК) того или иного загрязнителя, рассчитав для каждого из них величину коэффициента опасности (K_o). В связи с тем что по валовым формам кобальта и хрома нормативные показатели отсутствуют, по данным элементам расчеты не проводились (табл. 3). Ряд коэффициентов опасности химических элементов имеет следующий вид (min → max): Pb → Zn → Cu → Ni → As.

Установлено, что самыми высокими значениями K_o по всем анализируемым элементам характеризуется точка 4, расположенная на расстоянии 75 м от границы полигона на открытой местности с западной стороны, чему, вероятно, способствует перенос химических элементов потоком воздуха. Превышение допустимых концентраций отмечается только по меди и цинку. Вероятно, это обусловлено высокими значениями нормативных показателей (ОДК) для суглинистых и глинистых почв с pH > 5,5. До 2014 г. на данном объекте допускалось захоронение совместно с ТБО промышленных отходов, относящихся к 2–3 классам опасности, в частности, отхода машиностроительных производств г. Владимира – гальванического шлама [23]. Наиболее высокие средние значения K_o по всем точкам

Таблица 2

Валовое содержание тяжелых металлов и мышьяка в почве вблизи рекультивируемого полигона ТБО в районе р. Глиницы и руч. Безымянного, мг/кг

№ точки отбора пробы	Расстояние до границы полигона, м	Cr	Co	Ni	Cu	Zn	As	Pb
1	98	85,05	11,41	33,31	49,53	76,91	9,55	16,81
2	87	99,05	10,31	37,03	45,17	66,18	9,38	18,00
3	60	110,85	14,55	37,35	47,09	61,95	8,93	14,87
4	75	115,46	12,03	40,05	122,27	242,61	9,93	102,77
5	548	105,21	11,02	37,41	46,22	68,34	5,87	25,47
6	752	78,71	10,82	33,13	29,59	62,93	8,43	27,43
7	110	88,05	11,25	29,92	33,93	63,41	6,09	26,93
8	213	78,37	8,31	26,45	21,61	58,25	7,42	25,52
9	2430	89,85	11,68	22,61	35,73	61,0	6,84	14,43
ПДК или ОДК, мг/кг		–	–	80	120	220	10	130

Примечание. Точки отбора – см. рисунок. Прочерк – не установлены.

Таблица 3

Коэффициенты опасности (K_o) тяжелых металлов и мышьяка в образцах почв вблизи рекультивируемого полигона ТБО в районе р. Глиницы и руч. Безымянного

№ точки отбора пробы	Коэффициент опасности, K_o					
	Ni	Cu	Zn	As	Pb	Среднее
1	0,42	0,41	0,35	0,96	0,13	0,45
2	0,46	0,38	0,30	0,94	0,14	0,44
3	0,47	0,39	0,28	0,89	0,11	0,43
4	0,50	1,02	1,10	0,99	0,79	0,88
5	0,47	0,39	0,31	0,59	0,20	0,39
6	0,41	0,25	0,29	0,84	0,21	0,40
7	0,37	0,28	0,29	0,61	0,21	0,35
8	0,33	0,18	0,26	0,74	0,20	0,34
9	0,28	0,30	0,28	0,68	0,11	0,33
Среднее	0,41	0,40	0,38	0,80	0,23	

Примечание. Точки отбора – см. рисунок.

отмечены по мышьяку. Нейтральная и близкая к слабощелочной pH почвенной среды способствует его накоплению здесь за счет сорбции на поверхности органических и минеральных коллоидов с образованием прочных комплексов [24, 25]. Воздушный перенос вредных веществ, несомненно, может способствовать ухудшению экологической обстановки на территориях садовых некоммерческих товариществ, расположенных недалеко от полигона. А накопление мышьяка в почвах может представлять риски здоровью населения, выращивающего здесь растениеводческую продукцию для личного использования. Длительное воздействие дымовых выбросов от горения полигона ТБО на почвенный покров приводит к аккумуляции в них, как установлено, и других металлов-загрязнителей.

Химическое загрязнение поверхностных вод. В процессе размещения ТБО на свалках и полигонах за счет просачивания атмосферных осадков и биохимических процессов, происходящих в теле полигона, происходит образование фильтрационных вод (фильтрата). Его основные компоненты — это различные органические вещества, хлориды, сульфаты, тяжелые металлы (Fe, Mg, Mn, Cr, Co, Zn, Pb, As, Cu, Ni, Hg) и другие химические соединения, причем в концентрациях, превышающих в десятки и сотни раз их установленные ПДК [26–28]. В этой среде создаются наиболее благоприятные условия для образования комплексных соединений с металлами, присутствующими в отходах ТБО, их возможного перехода в растворимые формы и миграции с водными потоками в окружающую среду [26].

Пробы воды руч. Безымянного и р. Глиницы, протекающих вдоль границ территории полигона ТБО, имеют pH в диапазоне с 7,1 до 7,92 (табл. 4). Вероятно, это связано с завозом на полигон промышленных строительных отходов минерального состава, строительного мусора, пылевидных отходов доломитового и известкового щебня, кирпича, бетона, имеющих щелочную среду и используемых для засыпки отходов ТБО на этапе рекультивации. Это неизбежно приводит к попаданию в водные источники фильтрата, имеющего слабощелочную среду (pH 7–8,5). Подобные значения pH характерны для фильтратов старых полигонов, разложение отходов на которых находится на стадии анаэробной

Таблица 4

Результаты определения pH и удельной электропроводности образцов проб воды поверхностных водотоков в районе рекультивируемого полигона ТБО

№ пробы	Место отбора пробы	pH, ед.	Удельная электропроводность, мкСм/см
1	р. Глиницы	7,76	2095
2	»	7,92	1459
3	руч. Безымянный	7,78	1165
4	»	7,32	1084
5	»	7,10	121,6

деструкции (стабильной метанообразующей стадии) [28]. В свою очередь, повышение pH может способствовать снижению показателей качества воды ниже регламентированных для водных объектов рыбохозяйственного значения.

Обращаем внимание на высокие значения удельной электропроводности в точках 1–4, что свидетельствует о наличии здесь высоких концентраций водорастворимых ионов, а следовательно, их сильного химического загрязнения.

В табл. 5 приведены полученные данные по содержанию тяжелых металлов в воде поверхностных источников вблизи полигона ТБО.

По большинству точек отбора проб установлены превышения ПДК по таким металлам, как Pb, Zn, Cu, Ni, Fe, V, Cd. По цинку, меди и кадмию отмечаем значительные превышения ПДК: по меди — 25–44 ПДК, по кадмию — 11–36 ПДК, по цинку — 8–89 ПДК.

Цинк обладает повышенной подвижностью, особенно в почвах, имеющих слабокислую и кислую среду [20]. Попадание Zn в водные объекты может быть связано с вымыванием его из почвы за счет слабокислой среды (а такая величина pH характерна для почвы точек отбора проб 7 и 8, находящихся в лесной зоне на склоне оврага, где протекает руч. Безымянный). Следующая причина, по-видимому, заключается в просачивании фильтрационных вод из тела полигона в поверхностные воды. В случае попадания фильтрата, содержащего тяжелые металлы, в нижние горизонты серой лесной почвы с более низким pH почвенной среды (pH 6,0–6,2) данные металлы могут переходить в растворимую, легко мигрирующую форму. Это способствует попаданию ТМ в поверхностные воды ближайших источников.

Необходимо отметить, что особенностью северо-западной части Владимирского Ополья, где расположен полигон ТБО, является остаточный моренно-волнистый тип местности. Данная территория отличается высокой эрозионной расчлененностью с овражно-балочной сетью. Русла р. Глиницы и впадающего в нее руч. Безымянного расположены на доньях глубоких оврагов, проходящих вдоль границ полигона с юга, востока и севера, что при неудачном инженерном обустройстве полигона может способствовать загрязнению данных водотоков за счет разгрузки опасного свалочного фильтрата, образующегося в теле полигона. В руч. Безымянном, протекающем с южной стороны полигона и огибающем полигон ТБО с восточной, идет заметное нарастание концентрации Zn, вплоть до впадения в реку р. Глиницу, протекающую у северных границ полигона, где тоже наблюдается превышение концентрации Zn. Аналогична ситуация с Cu и Cd. Превышение ПДК по V, вероятно, связано с его вымыванием в виде подвижного аниона VO_3^- [29]. Превышение ПДК в пробах воды по указанным выше тяжелым металлам свидетельствует о том, что дренажная система по сбору и отводу фильтрационных вод и имеющийся противофильтрационный экран, представленный глинистыми грунтами в основании полигона, в результате длительной эксплуатации могли потерять свои изолирующие свойства и работают неэффективно, а это приводит к попаданию фильтрата в почву и загрязнению ближайших поверхностных водотоков.

Для других ионов в анализируемых пробах было установлено превышение ПДК: по аммонию (до 1,42 ПДК), магнию (до 1,63 ПДК), кальцию (до 1,76 ПДК), хлоридам (до 1,46 ПДК), сульфатам (до 1,06 ПДК), фторидам (до 10,0 ПДК), нитратам (до 2,01 ПДК) и фосфатам (до 25,0 ПДК) (табл. 6).

Отмечаем, что в точке отбора пробы воды 5 (верховье руч. Безымянного), в отличие от остальных точек, превышение ПДК установлено только по фторид- и фосфат-ионам. Эти данные хорошо кор-

Таблица 5

Содержание тяжелых металлов и мышьяка в воде поверхностных источников вблизи рекультивируемого полигона ТБО в районе р. Глиницы и руч. Безымянного, мг/дм^3

№ пробы	Pb	Zn	Cu	Ni	Fe	Cr	V	Cd	Co	As
1	**0,012**	**0,897**	**0,044**	**0,013**	**0,145**	0,003	**0,007**	**0,181**	0,002	<НПКО
2	**0,010**	**0,088**	**0,031**	0,008	0,087	0,003	**0,007**	<НПКО	0,002	0,0006
3	**0,015**	**0,467**	**0,025**	0,008	**0,258**	0,002	**0,006**	**0,142**	0,003	0,0006
4	**0,012**	**0,383**	**0,034**	**0,014**	**1,152**	0,004	**0,007**	**0,138**	0,004	0,0003
5	**0,025**	**0,375**	**0,030**	**0,011**	**0,726**	0,003	**0,006**	**0,056**	0,002	<НПКО
ПДК	0,006	0,01	0,001	0,01	0,1	0,02	0,001	0,005	0,01	0,05

Примечание. Полужирным шрифтом выделено превышение ПДК. НПКО – нижний предел количественного определения.

Таблица 6

Содержания катионов и анионов в воде поверхностных источников, расположенных рядом с рекультивируемым полигоном ТБО в районе р. Глиницы и руч. Безымянного, мг/дм^3

№ пробы	NH_4^+	K^+	Na^+	Mg^{2+}	Ca^{2+}	Cl^-	SO_4^{2-}	NO_3^-	F^-	PO_4^{3-}
1	**0,71**	0,46	83,79	**65,32**	**318,5**	**439,4**	68,14	**80,45**	**0,42**	**4,36**
2	**0,75**	3,04	68,11	**42,71**	**221,3**	263,2	43,27	**69,31**	**0,34**	**4,74**
3	0,44	0,85	82,08	35,21	**200,8**	153,8	**105,8**	8,37	**0,50**	**5,01**
4	**0,60**	1,97	27,21	34,21	136,2	146,6	67,6	1,46	**0,61**	**4,79**
5	0,11	1,19	10,22	8,82	56,6	87,8	35,9	2,14	**0,18**	**0,96**
ПДК, мг/дм^3	0,5	50	120	40	180	300	100	40	0,05	0,2

Примечание. Полужирным шрифтом выделено превышение ПДК.

релируют с показателями электропроводности и свидетельствуют о том, что загрязнение катионами и анионами в средней и нижней частях руч. Безымянного и р. Глиницы связано с просачиванием фильтрационных вод полигона ТБО в близлежащие водные объекты.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате проведенного исследования выявлено, что наиболее высокое валовое содержание тяжелых металлов в почве, превышающее значения ПДК/ОДК, наблюдается вблизи полигона ТБО на расстоянии 80–120 м от его границ. По мере удаления от полигона концентрации металлов в почве снижаются до значений ниже ПДК. Накоплению тяжелых металлов здесь способствовали такие факторы, как стихийное горение ТБО на полигоне, воздушный перенос аэрополлютантов, а также особенности серой лесной почвы (высокое содержание органического вещества, pH почвенной среды близкое к нейтральной, гранулометрический состав, характеризующийся высоким содержанием тонкодисперсных фракций глинистых минералов).

В поверхностных водах, протекающих в непосредственной близости от полигона ТБО, установлено превышение значений ПДК по ряду тяжелых металлов в десятки раз: по цинку 8–89 ПДК, по меди — 25–44, по кадмию — 11–36 ПДК. Анализ ионного состава поверхностных вод показал наличие химического загрязнения в средней и нижней частях русел руч. Безымянного и р. Глиницы, особенно велико превышение по фосфат-ионам (до 25 ПДК) и фторид-ионам (до 10 ПДК). С большой долей вероятности это связано с попаданием в поверхностные водотоки загрязненных фильтрационных вод полигона ТБО. Химическому загрязнению данных объектов способствует специфика ландшафта Владимирского Ополья, отличающегося высокой эрозионной расчлененностью и характерной овражно-балочной сетью. Русла руч. Безымянного и р. Глиницы проходят в глубоких оврагах, расположенных значительно ниже уровня основания полигона ТБО, что способствует разгрузке химически загрязненного фильтрата в поверхностные воды вследствие потери глинистыми грунтами, являющимися защитным экраном на данном полигоне, на протяжении длительного времени своих изолирующих свойств.

Инженерная необустроенность данного полигона ТБО и отсутствие четкого механизма рекультивационных мероприятий существенно увеличивают опасность загрязнения не только почвенного покрова прилегающих территорий, но и, в первую очередь, поверхностных водотоков опасными химическими соединениями. Поэтому первоочередные природоохранные меры для данного полигона на этапе рекультивации должны включать в себя следующие этапы:

– решение проблемы отведения, сбора и очистки образующегося фильтрата;

– гидроизоляцию основания и откосов тела полигона и создание надежного противофильтрационного экрана для предотвращения попадания загрязняющих веществ в водоносный горизонт;

– создание инженерной системы сбора и утилизации биогаза для исключения возникновения стихийных пожаров на полигоне ТБО.

Для контроля состояния окружающей среды в интересах безопасности проживающего здесь населения и сохранения уникальной экосистемы Владимирского Ополья вблизи данного закрытого

рекультивируемого полигона рекомендуется проводить регулярные мониторинговые экологические наблюдения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Сметанин В.И., Стрельников А.К., Пчелкин В.В.** Образование фильтрата на свалках и полигонах ТБО // Природообустройство. — 2014. — № 3. — С. 25–28.
2. **Грибанова Л.П., Киселев А.В.** Экологическое состояние полигонов и свалок ТБО Московской области, оценка их влияния на окружающую среду // Твердые бытовые отходы. — 2006. — № 4. — С. 1–4.
3. **Вайсман Я.И., Коротаев В.Н., Армишева Г.Т.** Территории полигонов ТБО: восстановление и использование // Твердые бытовые отходы. — 2014. — № 4. — С. 34–37.
4. **Mor S., Ravindra K.** Municipal solid waste landfills in lower- and middle-income countries: Environmental impacts, challenges and sustainable management practices // Process Safety and Environmental Protection. — 2023. — Vol. 174. — P. 510–530. — DOI: 10.1016/j.psep.2023.04.014
5. **Yaashikaa P.R., Kumar P.S., Nhung T.C., Hemavathy R.V., Jawahar M.J., Neshaanthini J.P., Rangasamy G.** A review on landfill system for municipal solid wastes: Insight into leachate, gas emissions, environmental and economic analysis // Chemosphere. — 2022. — Vol. 309. — P. 1, Art. 136627. — DOI: 10.1016-/j.chemosphere.2022.136627
6. **Еремин В.Н., Решетников М.В., Шешнев А.С.** Влияние полигонов захоронения отходов в Саратовской области на санитарное состояние почв // Гигиена и санитария. — 2017. — № 96 (2). — С. 117–121.
7. **Суханова А.А., Субботина Ю.М.** Экологические проблемы рециклинга твердых коммунальных отходов Подмосковья на примере Ногинского муниципального района // Проблемы ветеринарной санитарии, гигиены и экологии. — 2020. — № 2 (34). — С. 250–254. — DOI: 10.36871/vet.san.hyg.-ecol.202002021
8. **Ежегодный** доклад «О состоянии окружающей среды и здоровья населения Владимирской области в 2022 году». Вып. № 30. — Владимир: Изд-во ГБУ «Экология региона», 2023. — 181 с.
9. **Экологический** атлас бассейна реки Клязьма: Человек в окружающей среде / Под ред. Т.А. Трифоновой. — Владимир: Изд-во Владим. гос. ун-та им. А.Г. и Н.Г. Столетовых, 2018. — 312 с.
10. **ГОСТ** Р 58595-2019. Почвы. Отбор проб [Электронный ресурс]. — https://docs.cntd.ru/document/1200168814 (дата обращения 05.08.2023).
11. **ГОСТ** Р 51592-2000. Вода. Общие требования к отбору проб [Электронный ресурс]. — https://docs.cntd.ru/document/1200008006 (дата обращения 05.08.2023).
12. **ГОСТ** 14.4.02-84. Почвы. Методы отбора и подготовки проб для химического, бактериологического, гельминтологического анализа [Электронный ресурс]. — https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4293737/4293737734.pdf (дата обращения.10.09.2023).
13. **ГОСТ** 26423-85. Почвы. Методы определения удельной электрической проводимости, pH и плотного остатка водной вытяжки [Электронный ресурс]. — https://files.stroyinf.ru/Data/201/20148.pdf (дата обращения 10.09.2023).
14. **М-049-ПДО/18.** Методика измерений массовой доли металлов и оксидов металлов в порошковых пробах почв и донных отложений рентгенофлуоресцентным методом [Электронный ресурс]. — https://spectroscan.ntrt.ru/-images/manuals/eko-metod1.pdf (дата обращения: 10.09.2023).
15. **СанПиН** 1.2.3685-21. Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и(или) безвредности для человека факторов среды обитания [Электронный ресурс]. — https://www.rospotrebnadzor.ru/files/news/-GN_sreda%20_obitaniya_compressed.pdf (дата обращения.10.09.2023).
16. **М-049-ВП/09.** Методика выполнения измерений массовой концентрации свинца, цинка, меди, никеля, кобальта, железа, хрома, ванадия, висмута, кадмия, селена, мышьяка в природных, питьевых и сточных водах рентгенофлуоресцентным методом после концентрирования их пирролидиндитиокарбаминатных комплексов на фильтрах (ПНД Ф 14.1:2:4.208-04) [Электронный ресурс]. — https://spectronxray.ru/techniques/ekologiya/16/ (дата обращения: 10.09.2023).
17. **М-01-31-2011.** Определение неорганических катионов в воде (ПНД Ф 14.1:2:4.167-2000 (изд. 2011 г.)) [Электронный ресурс]. — https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4293745/4293745089.htm (дата обращения: 10.09.2023).
18. **М-01-58-2018**. Определение неорганических анионов в воде (ПНД Ф 14.1:2:3:4.282-18) [Электронный ресурс]. — https://www.lumex.ru/metodics/-23ARU03.01.01-1_anions-water.pdf (дата обращения: 10.09.2023).
19. **Приказ** Министерства сельского хозяйства РФ от 13.12.2016 г. «Об утверждении нормативов качества воды водных объектов рыбохозяйственного значения, в том числе нормативов предельно допустимых концентраций вредных веществ в водах водных объектов рыбохозяйственного значения» [Электронный ресурс]. — https://docs.cntd.ru/document/420389120 (дата обращения: 10.09.2023).
20. **Кабата-Пендиас А., Пендиас Х.** Микроэлементы в почвах и растениях. Пер. с англ. — М.: Мир, 1989. — 439 с.
21. **Водяницкий Ю.Н.** Учет геохимических особенностей территории и погодных условий при нормировании тяжелых металлов в почвах // Агрохимия. — 2014. — № 2. — С. 66–72.
22. **Карпова Д.В., Чижикова Н.П.** Распределение тяжелых металлов в гранулометрических фракциях и подфракциях дробной пептизации в серых и агросерых суглинистых почвах Владимирского Ополья // Бюл. Почвенного института им. В.В. Докучаева. — 2007. — № 59. — С. 50–68.

23. **Трифонова Т.А., Селиванова Н.В., Ширкин Л.А., Селиванов О.Г., Ильина М.Е.** Проблемы утилизации ТБО на полигонах // Изв. Самарского науч. центра РАН. — 2013. — Т. 15, № 3–2. — С. 685–687.
24. **Безуглова О.С., Околелова А.А.** О нормировании содержания мышьяка в почвах // Живые и биокосные системы. — 2012. — № 1 [Электронный ресурс]. — https://jbks.ru/archive/issue-1/article-7 (дата обращения: 27.10.2023).
25. **Водяницкий Ю.Н.** Хром и мышьяк в загрязненных почвах // Почвоведение. — 2009. — № 5. — С. 551–559.
26. **Подлипский И.И.** Полигоны бытовых отходов как объекты геологического исследования // Вестн. Санкт-Петерб. ун-та. Сер. 7. — 2010. — Вып. 1. — С. 15–31.
27. **Чухланов В.Ю., Селиванов О.Г., Пикалов Е.С., Чеснокова С.М., Подолец А.А.** Очистка воды от фторид-ионов лантансодержащим керамическим материалом // Экология и промышленность России. — 2018. — Т. 22, № 8. — С. 28–31. — DOI: 10.18412/1816-0395-2018-8-28-31.
28. **Podlasek A., Vaverkova M.D., Koda E., Jakimiuk A., Barroso P.M.** Characteristics and pollution potential of leachate from municipal solid waste landfills: Practical examples from Poland and the Czech Republic and a comprehensive evaluation in a global context // Journ. of Environmental Management. — 2023. — Vol. 332, Art. 117328. — DOI: 10.1016/j.jenvman.2023.117328.
29. **Водяницкий Ю.Н.** Об опасных тяжелых металлах/металлоидах в почвах // Бюл. Почв. ин-та им. В.В. Докучаева. — 2011. — № 68. — С. 56–82. — DOI: 10.19047/0136-1694-2011-68-56-82.

Поступила в редакцию 02.11.2023
После доработки 22.01.2024
Принята к публикации 07.05.2024