

- применения органических удобрений (1996–2011 гг.) [Increase the efficiency of use of plant residues in resource-saving technologies]. Vladimir, 2013. pp. 506–512.
- Kul'kov V., Danilov A., Shishkin A. Pochvozashchitnaia i minimal'naia obrabotka chistogo para pod ozimuiu rozh' v Saratovskoi oblasti [Soil protection and minimum treatment of pure steam for winter rye in the Saratov region] // *Glavnyi agronom*, 2013, no. 7, pp. 9–11.
- Listopadov I., Gaevaia E., Mishchenko A., Ignat'ev D. Optimizatsiia obrabotki pochvy v sevooborote [Optimization of processing of the soil in crop rotations] // *Glavnyi agronom*, 2013, no. 7, pp. 4–8.
- Loshakov V. G. *Sevooborot i drugie biologicheskie faktory vosproizvodstva plodorodiia pochvy* [Crop rotation and other biological factors of reproduction of soil fertility]. Sistemy ispol'zovaniia organicheskikh udobrenii i vobnovliaemykh resursov v landshaftnom zemledelii. T. 1. Vladimir, 2013. pp. 148–159.
- Olenchenko E. A., Rizhiiia E. Ia., Buchkina N. P., Balashov E. V. Vliianie stepeni okul'turennosti dernovo-podzolistoi supeschanoi pochvy na ee fizicheskie svoistva i urozhainost' sel'skokhoziaistvennykh kul'tur v agrofizicheskom stacionare [The influence of soil fertility of loamy sand spodosol on crop production and soil physical properties in the newly established field experiment] // *Agrofizika*, 2012, no. 4, pp. 8–18.
- Perfil'ev N. V., V'iushina O. A., Konishchev A. A., Garifullin I. I. Issledovanie vzaimosviazi «optimal'noi plotnosti» pochvy s urozhainost'iu zernovykh kul'tur [The interaction of soil «optimum density» with grain productivity] // *Agrofizika*, 2017, no. 4, pp. 16–24.
- Rzaeva V. V. Zasorennost' iarovoi pshenitsy pri razlichnykh sposobakh obrabotki pochvy v Severnom Zaural'e [Contamination of spring wheat under various tillage methods in the Northern Ural] // *Zemledelie*, 2013, no. 8, pp. 25–27.
- Shramko N. V., Vikhoreva G. V. Vliianie sistem udobrenii na plodorodie dernovo-podzolistykh pochv i produktivnost' sevooborotov v usloviakh Verkhnevolzh'ia [The effect of fertilizer systems on the fertility of sod-podzolic soils and the productivity of crop rotations in the Upper Volga Region]. *Intensivnye tekhnologii vozdel'vaniia sel'skokhoziaistvennykh kul'tur v Nechernozem'e* [Intensive technologies of cultivation of crops in non-Chernozem region]. Suzdal, 2013. pp. 58–62.

УДК 631.4

DOI: 10.25695/AGRPH.2018.03.02

СОДЕРЖАНИЕ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ В ПОЧВЕ, РАСТЕНИЯХ И ГРУНТОВЫХ ВОДАХ НА ТЕРРИТОРИИ ПОЛИГОНА ТВЕРДЫХ КОММУНАЛЬНЫХ ОТХОДОВ

С. Е. Витковская^{1,2}, Ю. О. Шилова¹

¹ФГБОУ ВО РГГМУ, ул. Воронежская, д. 79, Санкт-Петербург, 192007;

²ФГБНУ «Агрофизический научно-исследовательский институт»,

Гражданский пр., д. 14, Санкт-Петербург, 195220

E-mail: s.vitkovskaya@mail.ru

Поступила в редакцию 13 февраля 2018 г., принята к печати 28 августа 2018 г.

Представлены результаты оценки экологического состояния почвы, растений и грунтовых вод на территории полигона твердых коммунальных (бытовых) отходов, расположенного в Волосовском районе Ленинградской области и функционирующего в течение 17-ти лет. В фильтрационных водах, высачивающихся из тела полигона, кратность превышения значений ПДК (предельно допустимой концентрации) элементов для водоемов хозяйственно-питьевого назначения составила: азот аммонийный – 360; фосфор – 21; Mg – 22; Hg – 1,2; Cd – 15; Fe – 37; сухой остаток – 7. В пробах грунтовых вод содержание Li превысило ПДК в 6–7 раз. Выявлено существенное превышение фоновых концентраций Cd, Zn, Cu, Co и As в почве. Установлено, что в среднем по всем точкам опробования значение суммарного показателя загрязнения почвы (Zc), рассчитанного по валовому содержанию Cd, Hg, Pb, Zn, Cu, Co, Mn, As, Cr и Ni, варьировалось в пределах 5±6, что соответствует допустимой категории загрязнения. В растениях всех исследуемых видов содержание Cd, Hg, Pb, As, Zn, Cu, Co, Ni не превышало нормальных уровней концентраций. Превышение на 20–40% МДУ (максимально допустимого уровня) Cr для грубых и сочных кормов выявлено в 60% растительных проб. Содержание Mn в растениях *Typha atifolia* L. превысило предел нормального содержания в 3–4 раза.

Ключевые слова: полигон твердых коммунальных отходов, тяжелые металлы, ПДК, фильтрационные воды

CONTENT OF HEAVY METALS IN SOIL, PLANTS AND GROUNDWATER AT LANDFILL SITE OF MUNICIPAL SOLID WASTES

S. E. Vitkovskaya^{1,2}, Yu. O. Shilova¹

¹Russian State Hydrometeorological University, 79 Voronezhskaya St., Saint-Petersburg, 192007

²Agrophysics Research Institute, 14 Grazhdanskiy pr., Saint-Petersburg, 195220

E-mail: s.vitkovskaya@mail.ru

The paper presents the results of assessment of the ecological state of soil, plants and groundwater on the territory of solid municipal waste landfill located in the Volosovo District of the Leningrad Region and functioning for 17 years. In the filtration waters leaking from the body of the landfill the concentration of the elements was higher than the maximum permissible concentration (MPC for household and drinking purposes): ammonium nitrogen – 360 times; phosphorus – 21 time; Mg – 22 times; Hg – 1.2 times; Cd – 15 times; Fe – 37 times; the dry residue – 7 times. In groundwater samples, the Li content exceeded the MPC 6–7 times. A significant excess of background concentrations of Cd, Zn, Cu, Co and As was revealed in the soil. It was found that on average for all sampling points the value of the total soil contamination index (Zc), calculated from the gross content of Cd, Hg, Pb, Zn, Cu, Co, Mn, As, Cr and Ni, varied within 5 ± 6 , which corresponds to the permissible pollution category. In the plants of all studied species, the content of Cd, Hg, Pb, As, Zn, Cu, Co, Ni did not exceed normal levels of concentration. Exceeding by 20–40% of the maximum permissible level of Cr for the coarse and succulent fodders is revealed in 60% of plant samples. The content of Mn in plants *Typha atolia* L. exceeded the limit of normal content 3–4 times.

Key words: polygon of solid municipal waste, heavy metals, critical of threshold of concentration, filtration water.

ВВЕДЕНИЕ

На протяжении последних десятилетий повышение объемов образования твердых коммунальных отходов (ТКО) и усиление их негативного воздействия на окружающую среду остаются одними из основных экологических проблем Российской Федерации. В России ежегодно образуется более 60 млн. т. ТКО, а в хозяйственный оборот вовлекается не более 7–8% отходов (Комплексная стратегия, 2013). В период 2000–2016 гг. объемы вывоза ТКО/ТБО с территории городских поселений увеличились приблизительно в два раза: если в 2000 г. объем вывоза ТКО в целом по России составлял 152 млн. м³, то в 2016 г. рассматриваемый показатель вырос до 268,8 млн. м³ (52,4 млн. т.). Подавляющее количество ТКО продолжает вывозиться на захоронение: в 2016 г. на полигоны и свалки поступило 238,5 млн. м³ (47,6 млн. т.) отходов, или 88,7% от общего вывоза (Государственный доклад, 2017).

В настоящее время в России существует более 14 тыс. санкционированных объектов размещения отходов, занимающих территорию около 4 млн. га, а под размещение ТКО, объемы которых неуклонно возрастают, ежегодно выделяется около 0,5 млн. га (Доклад, 2017). Свалки и полигоны ТКО оказывают комплексное негативное воздействие на компоненты окружающей среды, а некоторые из них вследствие нарушения правил эксплуатации превращаются в объекты повышенной опасности. Так, по данным Государственного доклада (2017), к началу 2016 г. на учете у Росприроднадзора находилось 416 полигонов и свалок ТБО, оказывающих наиболее вредное воздействие на окружающую природную среду, что составило 56% от общего числа «горячих точек» в РФ.

Мониторинг экологического состояния территории и импактной зоны является необходимым условием эксплуатации объектов размещения отходов. Цель настоящего исследования заключалась в оценке

Складирование и захоронение отходов приводит к концентрации химических веществ в окружающей среде и формированию мелкоконтурных полиэлементных геохимических аномалий (Витковская, 2012). В зону воздействия тела полигона (свалки) попадают геологическая среда, подземные воды, воздушная среда, а также поверхностные воды, донные отложения, почвенный и растительный покров прилегающих территорий. Захоронение отходов приводит к изменению всех структурных компонентов естественной природной экосистемы – состава неорганических и органических веществ, которые включаются в биологический круговорот, химического состава водной, воздушной и почвенной сред (под воздействием продуктов трансформации отходов), видового состава продуцентов, консументов и редуцентов, а также элементов рельефа местности (Витковская, 2006; Витковская, 2012).

Масштабы негативного воздействия полигонов ТКО на окружающую среду (образование свалочного газа, загрязнение фильтрата, развитие патогенной микрофлоры) неразрывно связаны с объемами поступающей на захоронение органической фракции (Витковская, 2006; Витковская, 2010; Витковская, 2012). Длительность протекания процессов разложения органосодержащих отходов на полигонах составляет от 20 до 100 лет (Алборов, Степанова, 2002).

экологического состояния почвы, растений и грунтовых вод на территории полигона ТКО.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ

Объектом исследования являлся полигон ТКО, расположенный в Волосовском

районе Ленинградской области в 5 км на юго-восток от г. Волосово. Площадь полигона составляет 5,77 га, в том числе площадь двух карт захоронения – 3,46 га. Объект расположен в лесном массиве в пределах Ижорской возвышенности. Для него характерен холмисто-рядовый рельеф озерно-ледникового генезиса. Питание грунтовых вод осуществляется за счет инфильтрации атмосферных осадков. Участок и окружающий лес заболочены. Расстояние до ближайших населенных пунктов, деревень Захонье и Заполье, – 2,5 и 3,0 км соответственно. Водные объекты вблизи полигона отсутствуют.

Почвенный покров исследуемой территории нарушен в процессе строительства и эксплуатации полигона, верхний торфяной горизонт полностью удален. Под картами складирования отходов полигон оборудован противодиффузионным двухслойным экраном: 1-й слой – глина (0,5 м), 2-й слой – грунт (0,2 м) (по данным гидрологических исследований ООО «Профспецтранс»). На момент проведения исследования (2016–2017 гг.) срок эксплуатации полигона составил 16–17 лет. В настоящее время первая карта заполнена почти полностью: высота тела полигона составляет около 13,5 м (максимальная высота по проекту – 15 м).

Для оценки содержания ТМ и As в почве и растениях летом 2016 г. на территории полигона были отобраны пробы (расстояние от карт – 2–18 м). Для этого было заложено пять прикопок глубиной до 0,5 м. Пробы отбирались из каждого почвенного горизонта, общее количество проб составляло 15. Растительные пробы отбирались по одному–двум видам в непосредственной близости от прикопок, а также из фильтрационной канавы (табл. 4). В почвенных и растительных пробах валовое содержание ТМ (Cd, Hg, Pb, Zn, Cu, Co, Mn, Cr, Sb, Ni) и As определялось рентгено-флуорисцентным методом на кристалл-дифракционном спектрометре «Спектроскан МАКС-G». При помощи атомно-абсорбционного метода устанавливалось содержание подвижных соединений ТМ в почве (ААБ с pH 4,8), а также в грунтовых и фильтрационных водах (ФВ).

В марте 2017 г. для мониторинга воздействия объекта на грунтовые воды на территории полигона были заложены три скважины: контрольная (скважина № 2 глубиной 15 м), расположенная выше по потоку грунтовых вод (влияния ФВ на грунтовые воды не выявлено), и две скважины (№ 1 глубиной 11 м и № 3 глубиной 15 м), расположенные ниже по потоку грунтовых вод. Для установления степени загрязнения ФВ в июле 2017 г. были отобраны пробы из фильтрационного отвода тела полигона в обводную замкнутую траншею для сбора фильтрата. В пробах грунтовых и фильтрационных вод определялись pH и содержание аммонийного азота, нитритов, нитратов, гидрокарбонатов, кальция, хлоридов, железа, сульфатов, лития, ХПК, БПК, органического углерода, Mg, Cd, Cr, Pb, Hg, As, Cu, Ba, Li, цианидов и сухого остатка. Измерения проводились в 3-х кратной повторности. Математическая обработка данных выполнялась в программе ORIGIN 7,5.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Изменение элементного состава почвенно-растительного покрова территории полигона ТКО

оценивалось по содержанию валовых и подвижных соединений ТМ и As в почве (табл. 1, 3) и растениях (табл. 4).

Почва. Превышение ОДК Cd в 5; 2,8 и 2,6 раза выявлено в трёх почвенных пробах (глубина 7–20 см) (табл. 1), что свидетельствует о точечном загрязнении. Среднее по всем точкам опробования валовое содержание Pb в слое почвы 0–40 см не превышало $12 \pm 1 \text{ мг кг}^{-1}$ (ПДК 32 мг кг^{-1}). Наблюдалась тенденция к увеличению содержания Pb в поверхностном слое по отношению к нижележащим почвенным горизонтам. Валовое содержание Zn варьировалось в пределах 44 ± 14 (ОДК 55 мг кг^{-1}). Во всех точках опробования отмечалось увеличение валового содержания Mn с глубиной: в поверхностном слое (0–7 см) содержание элемента изменялось в пределах $79\text{--}232 \text{ мг кг}^{-1}$, в нижележащих горизонтах достигало $158\text{--}450 \text{ мг кг}^{-1}$ (ПДК 1500 мг кг^{-1}) (табл. 1). Валовое содержание Cu и Ni на всей территории полигона можно оценить как приближенное к ОДК – $23 \pm 8 \text{ мг кг}^{-1}$ и 20 ± 6 соответственно. Валовое содержание As на территории полигона находилось на уровне или превышало ПДК (2 мг кг^{-1}), среднее содержание элемента в почве составило $2,5 \pm 0,7 \text{ мг кг}^{-1}$, ПДК превышена в 60% проб (табл. 1). Уровень загрязнения почвы Cr на территории полигона существенно различался: в слое 0–7 см содержание элемента варьировалось от 39 до 124 мг кг^{-1} .

Фоновое содержание хрома в дерново-подзолистых почвах составляет 140 мг кг^{-1} (Методические указания, 1992). На территории полигона валовое содержание Cr в поверхностном слое почвы варьировалось в пределах $74 \pm 33 \text{ мг кг}^{-1}$ и во всех точках опробования возрастало с глубиной (табл. 1). Валовое содержание Hg и Sb в почве было существенно ниже предельно допустимых норм (табл. 1).

Одним из показателей, характеризующих влияние объекта размещения отходов на экологическое состояние почвенного покрова, является коэффициент концентрации (Kc), представляющий собой отношение валового содержания элемента в почве к фоновому содержанию. В почве исследуемого полигона выявлено существенное превышение фонового содержания таких элементов, как Cd, Zn, Cu, Co и As (табл. 1).

Суммарный показатель загрязнения почвы (Zc) также рассчитывался по значениям валового содержания всех исследуемых химических элементов (кроме Sb), представленных в табл. 1. Расчет значений Zc проводился согласно методике (Гигиеническая оценка, 1999). Установлено, что в среднем по всем точкам опробования значение Zc варьировалось в пределах 5 ± 6 , что

соответствует допустимой категории загрязнения ($Z_c < 16$) (табл. 2). Только в одной пробе, отобранной на расстоянии 18 м от карты (прикопка 1), уровень содержания ТМ и As соответствовал умеренно опасной категории загрязнения ($Z_c 16-32$).

Результаты исследования показали, что на территории полигона содержание подвижных соединений ТМ в почве существенно ниже ПДК (табл. 3). Влияние объекта на экологическое состояние почвы можно оценить по изменению содержания химических элементов в почве в зависимости от расстояния точек опробования до карты и глубины взятия пробы.

Установлено, что содержание подвижных соединений ТМ существенно зависело от расстояния точки опробования до карты. На расстоянии 4 м содержание в почве подвижных соединений исследуемых химических элементов превышало их содержание на расстоянии 18 м: Zn – в 3,6 раза; Pb – в 2,7 раза; Cr и Cu – в два раза; Mn – в 2,5 раза; Ni и Co – в 1,2 раза (табл. 2). Содержание подвижных соединения Pb и Zn в поверхностном слое почвы (0–7 см) линейно снижалось на расстоянии 4–18 м от карты (коэффициенты корреляции (r) –0,993 и –0,835 соответственно).

Во всех точках опробования равномерное распределение по профилю (0–42 см) было характерно для Cr, относительно равномерное – для Ni, Cu, Co и Mn. Содержание подвижных соединений Pb и Zn было дифференцировано по профилю. Выявлено увеличение содержания Pb в поверхностном (0–7 см) слое в 1,1–2,6 раза (табл. 3) по отношению к нижележащим горизонтам. Содержание подвижных соединений Zn на расстоянии 18 м от карты составляло $0,5 \pm 0,2$ мг $кг^{-1}$, что можно рассматривать как фоновое содержание элемента в почве. На расстоянии 7,5–4 м от карт (прикопки 2–5) содержание подвижных соединений Zn существенно повысилось, достигнув 6,8–8,5 мг/кг в слое 7–14 см (табл. 3). Зависимости между валовым содержанием цинка и содержанием его подвижных соединений в почве не выявлено. Содержание подвижных соединений свинца линейно зависело от его валового содержания ($r = 0,795$).

Растения. Диапазон нормальных концентраций тяжелых металлов в растениях является довольно широким (Ильин, 1991), что вызвано генетически обусловленной неоднородностью содержания химических элементов в растениях различных видов и сортов, а также разнообразием условий внешней среды, определяющих переход химических элементов из почвы в растения. В растениях всех исследуемых видов содержание Cd, Hg, Pb, As, Zn, Cu, Co и Ni не превышало нормального уровня (табл. 4). Превышение на 20–40% предельно допустимой концентрации Cr ($0,1-0,5$ мг $кг^{-1}$ (Ильин, 1991)) и МДУ Cr (мг $кг^{-1}$) (Временный максимально допустимый уровень, 1987)) для грубых и сочных кормов выявлено в 60% растительных проб. Содержание Mn в стеблях и листьях растений рогоза, отобранных из фильтрационной канавы, превышало предельно допустимую концентрацию ($15-150$ мг $кг^{-1}$ (Ильин, 1991)) в три и четыре раза соответственно.

Зона загрязнения почвенного и растительного покрова вокруг свалок может достигать 500–1500 м (Игнатович, Рыбальский, 1998; Башаркевич, Ефимова, 1992).

Фильтрационные воды. Известно (Бабак, 1991; Грибанова, Зрянин, 1997; Игнатович, Рыбальский, 1998; Скворцов и др., 1998; Косов и др., 2000; Витковская, 2012), что наиболее опасное воздействие полигонов ТБО на геологическую среду заключается в распространении водоносного техногенного горизонта (фильтрата), образующегося при взаимодействии ТБО с инфильтрующимися атмосферными осадками и представленного сильно загрязненными водами. Сроки выхода фильтрата, формирующегося в теле свалки, могут колебаться от одного года (для песчаных грунтов) до 25 лет (для глинистых грунтов) после захоронения отходов (Игнатович, Рыбальский, 1998).

В фильтрационных водах исследуемого полигона наибольшая кратность превышения значений ПДК элементов для водоемов хозяйственно-питьевого назначения составила: азот аммонийный – 360; фосфор общий – 21; магний – 22; ртуть – 1,2; кадмий – 15; железо – 37; сухой остаток – 7.

Объем и состав фильтрационных вод зависят от площади полигона, количества и компонентного состава складированных отходов и условий атмосферного увлажнения. По некоторым оценкам (Поворов и др., 2017), их объем составляет 25–50% от объема складированных отходов.

Грунтовые воды. В пробах грунтовых вод, отобранных из скважин по периметру полигона, кратность превышения ПДК элементов для водоемов рыбохозяйственного назначения составила: БПК₅ – 1,5–1,6; ХПК – 1,2; Li – 6–7. Во всех пробах воды содержание Fe находилось на уровне или выше ПДК для водоемов рыб.-хоз. назначения. Полученные результаты свидетельствуют, что противифльтрационный экран не обеспечивает полную защиту грунтовых вод от загрязнения фильтрационными водами.

ВЫВОДЫ

1. Объекты размещения твердых коммунальных (бытовых) отходов являются долгосрочными потенциальными источниками поступления неорганических и органических веществ, загрязняющих окружающую среду и изменяющих элементный состав грунтовых вод, почвы и растений.

2. Наибольшую потенциальную опасность для контактирующих с полигоном ТКО сред представляют фильтрационные воды. Кратность превышения значений ПДК элементов в фильтрате составила: азот аммонийный – 360; фосфор – 21;

Mg – 22; Hg – 1,2; Cd – 15; Fe – 37; сухой остаток – 7.

3. В пробах грунтовых вод кратность превышения ПДК элементов для водоемов рыб.-хоз. назначения составила: БПК₅ – 1,5–1,6; ХПК – 1,2; Li – 6–7; содержание Fe находилось на уровне или превышало ПДК.

4. Выявлено существенное превышение фонового содержания Cd, Zn, Cu, Co и As в почве.

5. Установлено, что в среднем по всем точкам опробования значение суммарного показателя загрязнения почвы (Zc), рассчитанного по валовому содержанию Cd, Hg, Pb, Zn, Cu, Co, Mn, As, Cr и Ni, варьировалось в пределах 5±6, что соответствует допустимой категории загрязнения (Zc < 16).

6. В растениях всех исследуемых видов (*Phleum pratense* L., *Carex*, *Taraxacum officinale* Wigg., *Poaceae*, *Typha atifolia* L.) содержание Cd, Hg, Pb, As, Zn, Cu, Co и Ni не превышало допустимого уровня концентрации. Превышение на 20–40% МДУ Cr для грубых и сочных кормов выявлено в 60% растительных проб. Содержание Mn в растениях *Typha atifolia* L., отобранных непосредственно из фильтрационной канавы, превысило предельно допустимую концентрацию в три–четыре раза.

Таблица 1. Валовое содержание тяжелых металлов и мышьяка в почве, мг кг⁻¹

Горизонт	Cd	Hg	Pb	Zn	Cu	Co	Mn	As	Cr	Sb	Ni
Прикопка 1 (расстояние от карты 1–18 м)											
Ад (0–7 см)	≤0,5	≤0,02	12,8±1,0	50±5	25±2	12±0,5	223±10	3±0,2	124±5	≤0,5	23±2
А1 (7–20 см)	2,5	≤0,02	9,8±0,5	71±4	29±2	16±1	343±15	2±0,2	139±9	≤0,5	32±3
Вг (20–48 см)	≤0,5	≤0,02	9,8±0,7	55±5	36±3	17±0,5	450±15	1±0,1	141±9	≤0,5	26±3
Прикопка 2 (расстояние от карты 1–7,5 м)											
Ад (0–7 см)	≤0,5	≤0,02	12,7±1,5	28±1	15±1	8±0,5	79±5	3±0,1	39±3	≤0,5	15±1,5
А1 (7–14 см)	≤0,5	≤0,02	12,0±0,5	39±2	28±2	10±1	94±8	3,5±0	48±5	≤0,5	18±2
Вг (14–41 см)	≤0,5	≤0,02	11,4±1,5	32±1	17±1	9±0,5	158±15	2±0,2	56±5	≤0,5	16±1,5
Прикопка 3 (расстояние от карты 1–6 м)											
Ад (0–7 см)	≤0,5	≤0,02	12,1±0,5	26±2	14±0,5	6±0,5	196±14	2,5±0	52±7	≤0,5	11±1
А1 (7–18 см)	1,4	≤0,02	11,6±1,0	39±2	24±3	9±0,3	282±16	2±0,2	69±5	≤0,5	19±2
Вг (14–41 см)	≤0,5	≤0,02	11,2±0,9	30±1,5	16±2	7±0,3	489±21	2±0,1	74±6	≤0,5	14±1,5
Прикопка 4 (расстояние от карты 2–5 м)											
Ад (0–7 см)	≤0,5	≤0,02	12,4±0,7	37	19±1	8±0,6	168	3±0,3	71±6	≤0,5	17±1,5
А1 (7–14 см)	≤0,5	≤0,02	11,6±0,5	52	28±2	13±0,5	210	2,5±0	90±5	≤0,5	24±2,5
Вг (14–43 см)	≤0,5	≤0,02	11,1±0,9	35	15±0	9±0,5	365	2±0,3	103±9	≤0,5	18±1,7
Прикопка 5 (расстояние от карты 2–4 м)											
Ад (0–7 см)	≤0,5	≤0,02	15,2±1,5	49±3	28±1	14±1	232±12	4±0,2	86±7	≤0,5	26±1,6
А1 (7–14 см)	1,3	≤0,02	12,1±0,5	67±5	36±1	18±1,5	317±15	3±0,1	114±6	≤0,5	34±2,5
Вг (14–41 см)	≤0,5	≤0,02	11,1±0,7	46±2	21±1	11±1	459±22	2,5±0	169±9	≤0,5	22±2,0
ОДК*	0,5	–	32	55	33	–	–	2,0	–	–	20
ПДК вал.	–	2,1	32	–	–	–	1500	2,0	–	4,5	–
Фоновые содержания валовых форм (СП 11-102-97; Методические..., 1992)**	0,12	0,1	15	45	15	10	650	2,2	140	–	30

Примечание: * – ОДК для песчаных и супесчаных почв; ** – для дерново-подзолистых суглинистых почв.

Таблица 2. Значения суммарных показателей загрязнения почвы (Zc)

Горизонт	Прикопка				
	1	2	3	4	5
Ад (0–7 см)	3,6	0,93	0,48	1,8	4,5
А1 (7–20 см)	21,2	2,7	9,8	3,4	12,3
Вг (20–40 см)	10,2	0,97	1,1	0,89	3,4

Таблица 3. Содержание подвижных соединений тяжелых металлов в почве, мг кг⁻¹

Горизонт	Cr	Ni	Pb	Zn	Cu	Co	Mn	Cd
Прикопка 1, 18 м от Карты № 1								
Ад (0–7 см)	0,2±0,05	0,4±0,02	1,2±0,1	0,5±0,05	0,4±0,05	0,4±0,06	36±5	≤0,01
А1 (7–20 см)	0,2±0,05	0,4±0,04	1,1±0,1	0,4±0,02	0,9±0,07	0,4±0,04	32±4	≤0,01
Вг (20–48 см)	0,2±0,02	0,9±0,06	0,9±0,05	0,7±0,05	0,7±0,03	≤0,05	30±4	≤0,01
Прикопка 2, 7,5 м от Карты № 1								
Ад (0–7 см)	0,2±0,05	0,3±0,05	2,5±0,2	2,0±0,1	0,3±0,02	0,4±0,02	13±1	≤0,01
А1 (7–14 см)	0,2±0,01	0,3±0,05	1,7±0,1	6,8±3,0	0,5±0,04	0,4±0,03	7±1	≤0,01
Вг (14–41 см)	0,1±0,02	0,4±0,05	1,4±0,2	0,9±0,6	0,3±0,05	≤0,05	6±1,5	≤0,01
Прикопка 3, 6 м от Карты № 1								
Ад (0–7 см)	0,3±0,05	0,4±0,06	2,9±0,3	2,1±0,4	0,4±0,06	0,5±0,05	83±6	≤0,01

А1 (7–18 см)	0,4±0,05	0,6±0,01	1,5±0,1	7,4±0,5	0,4±0,05	0,3±0,02	72±5	≤0,01
Вg (14–41 см)	0,4±0,05	0,5±0,05	1,5±0,1	0,4±0,02	0,4±0,05	0,4±0,02	59±5	≤0,01
Прикопка 4, 5 м от Карты № 2								
Ад (0–7 см)	0,4±0,02	0,5±0,03	2,9±0,2	3,1±0,4	0,5±0,03	0,4±0,08	28±1	≤0,01
А1 (7–14 см)	0,4±0,05	0,7±0,05	2,6±0,3	8,5±1,5	0,6±0,5	0,5±0,035	24±2	≤0,01
Вg (14–43 см)	0,4±0,01	0,4±0,02	1,1±0,1	1,0±0,2	0,4±0,03	0,4±0,05	20±0,5	≤0,01
Прикопка 5, 4 м от Карты № 2								
Ад (0–7 см)	0,4±0,03	0,5±0,01	3,2±0,2	1,8±0,2	0,8±0,07	0,5±0,04	90±2,5	≤0,01
А1 (7–14 см)	0,4±0,01	0,7±0,02	2,2±0,3	12±1,3	0,8±0,06	0,5±0,03	80±5	≤0,01
Вg (14–41 см)	0,4±0,01	0,7±0,04	1,7±0,2	2,8±0,6	0,5±0,06	0,3±0,02	67±5	≤0,01
ПДК подв.	6	4	6	23	3	5	–	–

Таблица 4. Содержание тяжелых металлов и мышьяка в растениях, мг кг⁻¹ сухого вещества

Образец	Cd	Hg	Pb	Zn	Cu	Co	Mn	As	Cr	Sb	Ni
Прикопка 1, 18 м от Карты № 1											
Тимофеевка луговая (<i>Phleum pratense</i> L.)	≤0,5	≤0,02	1,6±0,1	24±2	10±0,5	≤0,1	104±7	≤0,1	0,7±0,05	≤0,5	0,5±0,02
Тимофеевка луговая	≤0,5	≤0,02	1,3±0,1	22±1,5	12±1	≤0,1	69±5	≤0,1	0,6±0,03	≤0,5	0,4±0,02
Прикопка 2, 7,5 м от Карты № 1											
Осока (<i>Carex</i>)	≤0,5	≤0,02	1,3±0,1	26±1,5	11±0,5	≤0,1	118±5	≤0,1	0,5±0,05	≤0,5	0,5±0,03
Одуванчик обыкновенный (<i>Taraxacum officinale</i> Wigg)	≤0,5	≤0,02	1,4±0,1	23±0,5	20±1,5	≤0,1	104±8	≤0,1	0,4±0,03	≤0,5	0,4±0,02
Прикопка 3, 6 м от Карты № 1											
Злаковые травы (<i>Poaceae</i>)	≤0,5	≤0,02	1,4±0,2	30±2,5	14±0,5	≤0,1	95±6	≤0,1	0,5±0,02	≤0,5	0,2±0,01
Одуванчик обыкновенный	≤0,5	≤0,02	1,2±0,2	16±1,5	24±2	≤0,1	111±4	≤0,1	0,6±0,02	≤0,5	0,8±0,05
Прикопка 4, 5 м от Карты № 2											
Осока (<i>Carex</i>)	≤0,5	≤0,02	1,2±0,2	29±0,5	15±1,5	≤0,1	119±5	≤0,1	0,7±0,05	≤0,5	0,4±0,03
Прикопка 5, 4 м от Карты № 2											
Злаковые травы	≤0,5	≤0,02	1,1±0,1	29±2,5	12±0,5	≤0,1	133±6	≤0,1	0,7±0,03	≤0,5	0,6±0,04
Фильтрационная канава											
Рогоз широколистный (<i>Typha latifolia</i> L.) стебель	≤0,5	≤0,02	1,2±0,2	22±0,5	10±0,5	≤0,1	483±7	≤0,1	0,4±0,01	≤0,5	1±0,01
Рогоз широколистный, листья	≤0,5	≤0,02	1,7±0,2	23±2,5	12±1,1	≤0,1	598±9	≤0,1	0,7±0,04	≤0,5	1±0,01
МДУ для грубых и сочных кормов, мг кг ⁻¹ (Временный МДУ, 1987)	0,3	0,05	5,0	50	30	–	–	0,5	0,5	0,5	3,0
МДУ для кормов (Ветеринарно-санитарные нормы, 1997)	0,5	0,1	5,0	250	–	–	–	2,0	–	–	–
Нормальное содержание в растениях (Ильин, 1991)	0,05–0,2	0,001–0,01	0,1–5,0	15–150	3–40	0,01–0,3	15–150	0,1–1	0,1–0,5	–	0,1–1

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Алборов И. Д., Степанова С. Н. Исследование геохимических процессов, происходящих на полигонах твердых бытовых отходов // Вестник Международной академии экологии и безопасности жизнедеятельности. 2002. Т. 7. № 9 (57). С. 32–34.
- Бабак В. В. Геоэкология полигонов твердых бытовых отходов Московского региона. Автореф. дисс. канд. геолого-минерал. наук. М., 1991. 19 с.

- Башаркевич И. Л., Ефимова Р. И. Влияние городских свалок на загрязнение окружающей среды тяжелыми металлами // Эколого-геохимический анализ техногенного загрязнения. Сборник научных статей. М., 1992. С. 137–151.
- Ветеринарно-санитарные нормы и требования к качеству кормов для непродуктивных животных. Утверждены Департаментом ветеринарии Министерства сельского хозяйства и продовольствия Российской Федерации 15 июля 1997 г. № 13-7-2/1010. М., 1997. 7 с.
- Витковская С.Е. Твердые бытовые отходы: антропогенное звено биологического круговорота. СПб.: АФИ, 2012. 132 с.
- Витковская С. Е. Агроэкологические основы использования биотермически переработанных твердых бытовых отходов для повышения плодородия кислых почв. Дисс. докт. биол. наук. СПб., 2006. 249 с.
- Витковская С. Е. Захоронение твердых бытовых отходов как один из факторов антропогенного воздействия на глобальные циклы элементов в биосфере // Вестник Государственной полярной академии. 2010. № 10. С. 47–50.
- Временный максимально допустимый уровень (МДУ) содержания некоторых химических элементов и госсипола в кормах для сельскохозяйственных животных и кормовых добавках. Утвержден Главным управлением ветеринарии Госагропрома СССР 07.08.87 г. М., 1987.
- Гигиеническая оценка качества почвы населенных мест. Методические указания. М., Федеральный центр Госсанэпиднадзора Минздрава России, 1999. 38 с.
- Государственный доклад «О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации в 2016 году». М.: Минприроды России, НИА-Природа, 2017. С. 281–298.
- Грибанова Л. П., Зрянин А. А. Геоэкологические исследования на Саларьевском полигоне твердых бытовых и промышленных отходов // Экология и промышленность России. 1997. С. 8–10.
- Доклад Совета при Президенте Российской Федерации по развитию гражданского общества и правам человека по вопросам, связанным с обеспечением прав населения на охрану здоровья и благоприятную окружающую среду при утилизации отходов потребления. М., 2017. 48 с.
- Игнатович Н. И., Рыбальский Н. Г. Что нужно знать о твердых бытовых отходах? // Экологический вестник России. 1998. № 1. С. 53–60.
- Ильин В. Б. Тяжелые металлы в системе «почва – растение». Новосибирск: Наука, 1991. 118 с.
- Комплексная стратегия обращения с твердыми коммунальными (бытовыми) отходами в Российской Федерации. М.: Министерство природных ресурсов РФ, 2013. 18 с.
- Косов В. И., Клыков В. Е., Иванов В. Н., Фирсова Л. В. Моделирование влияния загрязнений подземных вод от полигона твердых бытовых отходов // Экологические системы и приборы. 2000. № 2. С. 2–7.
- Методические указания по определению тяжелых металлов в почвах сельхозугодий и продукции растениеводства (издание 2-е, перераб. и доп.). М., 1992. 63 с.
- Поворов А. А., Павлова В. Ф., Шиненкова Н. А. Очистка дренажных вод полигонов твердых бытовых отходов (ТБО). 2017. <http://zaobmt.com/index.php/articles/139-landfil-leachate.html>.
- Скворцов Л. С., Варшавский В. Я., Камруков А. С., Селиверстов А. Ф. Очистка фильтрата полигонов твердых бытовых отходов // Чистый город. 1998. № 2. С. 2–7.
- СП 11-102-97. Инженерно-экологические изыскания для строительства. Принят и введен в действие с 15 августа 1997 г. М.: Госстрой России, ГУП СПб, 1997. 42 с.

REFERENCES

- Alborov I. D., Stepanova S. N. Issledovanie geokhimicheskikh protsessov, proiskhodiashchikh na poligonakh tverdykh bytovykh otkhodov [Study of geochemical processes occurring at solid waste landfills] // *Vestnik mezhdunarodnoi akademii ekologii i bezopasnosti zhiznedeiatel'nosti*, 2002, v. 7, no. 9 (57), pp. 32–34.
- Babak V.V. *Geoekologiya poligonov tverdykh bytovykh otkhodov Moskovskogo regiona. Avtoref. diss. kand. geologo-mineral. nauk* [Geoecology of municipal solid waste landfills in Moscow region. Abstract diss. cand. geologo-mineral. sci.]. Moscow, 1991. 19 p.
- Basharkevich I. L., Efimova R. I. Vliianie gorodskikh svalok na zagriaznenie okruzhaiushchei sredy tiazhelymi metallami [The impact of urban landfill on the environmental contamination by heavy metals] // *Ekologo-geokhimicheskii analiz tekhnogenenogo zagriazneniia. Sbornik nauchnykh statei*. Moscow, 1992, pp. 137–151.
- Veterinarno-sanitarnye normy i trebovaniia k kachestvu kormov dlia neproduktivnykh zhivotnykh*. Utverzhdeny Departamentom veterinarii Ministerstva sel'skogo khoziaistva i prodovol'stviia Rossiiskoi Federatsii 15 iul'ia 1997 g. № 13-7-2/1010. Moscow, 1997. 7 p.
- Vitkovskaia S.E. *Tverdye bytovye otkhody: antropogennoe zveno biologicheskogo krugovorota* [Municipal solid waste: an anthropogenic link of the biological cycle]. Saint-Petersburg: Publishing AFI, 2012. 132 p.
- Vitkovskaia S. E. *Agroekologicheskie osnovy ispol'zovaniia biotermicheskii pererabotannykh tverdykh bytovykh otkhodov dlia povysheniia plodorodiia kislykh pochv*. Diss. dokt. biol. nauk [Agroecological foundations of the use of biotermically recycled municipal solid waste for the increase of a sour soil. Diss. doct. boil. sc.]. Saint-Petersburg, 2006. 249 p.

- Vitkovskaia S. E. Zakhoronenie tverdykh bytovykh otkhodov kak odin iz faktorov antro-pogennogo vozdeistviia na global'nye tsikly elementov v biosfere [A municipal solid waste burial as one of the factors of the anthropogenic impact on global cycles of elements in the biosphere] // *Vestnik Gosudarstvennoi poliarnoi akademii*, 2010, no. 10, pp. 47–50.
- Vremennyi maksimal'no dopustimyi uroven' (MDU) sodержaniia nekotorykh khimicheskikh elementov i gossypola v kormakh dlia sel'skokhoziaistvennykh zhivotnykh i kormovykh dobavkakh [Global maximum allowable limit of some chemical elements and gossypol content in farm animals feeds and supplement feeds]. Utverzhden Glavnym upravleniem veterinarii Gos-agroproma SSSR 07.08.87 g. Moscow, 1987.
- Gigienicheskaia otsenka kachestva pochvy naselennykh mest [A sanitary audit of inhabited places soil quality]. *Metodicheskie ukazaniia*. Moscow: Federal'nyi tsentr gossanepidnadzora Minzdrava Rossii, 1999. 38 p.
- Gosudarstvennyi doklad «O sostoianii i ob okhrane okruzhaiushchei sredy Rossiiskoi Federatsii v 2016 godu» [The state report «About state and protection of the environment in Russian Federation in 2016»]. Moscow: Minprirody Rossii; NIA-Priroda, 2017, pp. 281–298.
- Gribanova L. P., Zrianin A. A. Geoekologicheskie issledovaniia na Salar'evskom poligone tverdykh bytovykh i promyshlennykh otkhodov [Geoecological researches at the Salar'evskiy municipal solid waste and intermediate waste landfill] // *Ekologiya i promyshlennost' Rossii*, 1997, pp. 8–10.
- Doklad Soveta pri Prezidente Rossiiskoi Federatsii po razvitiuu grazhdanskogo obshchestva i pravam cheloveka po voprosam, svyazannym s obespecheniem prav naseleniia na okhranu zdorov'ia i blagopriiatnuiu okruzhaiushchuiu sredu pri utilizatsii otkhodov potrebleniia [The Presidential Council for Civil Society and Human Rights report on issues related to ensuring the rights of the population to protect health and a favorable environment in the utilization of waste products]. Moscow, 2017. 48 p.
- Ignatovich N. I., Rybal'skii N. G. Chto nuzhno znat' o tverdykh bytovykh otkhodakh? [What do you need to know about municipal solid waste?] // *Ekologicheskii vestnik Rossii*, 1998, no. 1, pp. 53–60.
- Il'in V.B. *Tiazhelye metally v sisteme pochva-rastenie* [Heavy metals in the soil – plant system]. Novosibirsk: Nauka, 1991. 118 p.
- Kompleksnaia strategiya obrashcheniia s tverdymi kommunal'nymi (bytovymi otkhodami v Rossiiskoi Federatsii) [The overarching strategy for the management of municipal (domestic) solid waste in the Russian Federation]. Moscow: Ministerstvo prirodnykh resursov RF, 2013. 18 p.
- Kosov V. I., Klykov V. E., Ivanov V. N., Firsova L. V. Modelirovanie vliianiia zagriaznenii podzemnykh vod ot poligona tverdykh bytovykh otkhodov [Modeling of the groundwater pollution impact from the municipal solid waste landfill] // *Ekologicheskie sistemy i pribory*, 2000, no. 2, pp. 2–7.
- Metodicheskie ukazaniia po opredeleniiu tiazhelykh metallov v pochvakh sel'khozugodii i produktsii rastenievodstva [Methodical instruction for the determination of heavy metals in soils of farmland and crop production] (izdanie 2-e, pererab. i dop.). Moscow, 1992. 63 p.
- Povorov A.A., Pavlova V.F., Shinenkova N.A. *Ochistka drenazhnykh vod poligonov tverdykh bytovykh otkhodov (TBO)* [Purification of municipal solid waste (MSW) landfills drainage water]. 2017. <http://zaobmt.com/index.php/articles/139-landfil-leachate.html>.
- Skvortsov L. S., Varshavskii V. Ia., Kamrukov A. S., Seliverstov A. F. Ochistka fil'trata poligonov tverdykh bytovykh otkhodov [Purification of municipal solid waste landfills filtrate] // *Chisty gorod*, 1998, no. 2, pp. 2–7.
- SP 11-102-97. *Inzhenerno-ekologicheskie izyskaniya dlya stroitel'stva* [Environmental engineering surveys for construction]. Prinyat i vveden v dejstvie s 15 avgusta 1997 g. Moscow: Gosstroj Rossii, GUP SPP, 1997. 42 p.

УДК 631.5; 631.6; 911.2

DOI: 10.25695/AGRPH.2018.03.03

РЕЗУЛЬТАТЫ МОНИТОРИНГА ПРОДУКТИВНОСТИ МНОГОЛЕТНИХ ТРАВ В ПРЕДЕЛАХ МОРЕННОГО ХОЛМА

Д. А. Иванов, Н. Г. Ковалев, О. В. Карасева, М. В. Рублюк

*ФГБНУ Всероссийский научно-исследовательский институт мелиорированных земель (ВНИИМЗ),
170530, Тверская обл., пос. Эммаус, 27,
E-mail: volok123@gmail.com*

Поступила в редакцию 11 мая 2017 г., принята к печати 28 августа 2018 г.

В период экологического кризиса мониторинг урожайности сельскохозяйственных культур приобретает большое значение. На его основе можно разработать адаптивные методы мелиорации угодий. В работе рассмотрены результаты статистического анализа данных мониторинга урожайности многолетних трав. Исследования проводились на агроэкологической трансекте – узком поле длиной 1300 м, пересекающем все основные микроландшафтные позиции конечно-моренного холма. Определение продуктивности травостоев осуществлялось в точках опробования, различающихся только в природном отношении. Они регулярно расположены по трансекте на расстоянии 40 м друг от друга. Исследования проводились в 1998–2016 гг. Для анализа климатических параметров использовались данные метеостанции г. Тверь. Обработка полученных данных осуществлялась при помощи метода множественной регрессии на основе пакета

STATGRAPHICS plus. Для агроландшафта в целом и его отдельных частей были получены уравнения множественной регрессии, описывающие влияние многолетних колебаний агрометеорологических показателей на урожайность сена. Выявлены закономерности адаптивных реакций растений на изменчивость агроклиматических условий в пределах различных частей конечно-моренной гряды. Установлено, что агроклиматические условия и ландшафтные особенности территории оказывают существенное влияние на продукционный процесс трав. Негативное воздействие погодных условий на травы первого года жизни, как правило, отражается на урожайности достаточно старых травостоев. Особенности перераспределения тепла и влаги в разных частях агроландшафта определяют зависимость травостоев от заболоченности почв и инверсионных процессов. В пределах всего конечно-моренного холма рекомендуется проводить осушение, однако на верхних высотных отметках агроландшафта следует применять системы двойного регулирования водно-воздушного режима почв.

Ключевые слова: агроландшафт, мелиорация, травостой, климат, мониторинг.