

ГЕАХІМІЯ
GEOCHEMISTRY

УДК 504.5:631.4 (476)
<https://doi.org/10.29235/1561-8331-2021-57-3-320-330>

Поступила в редакцию 16.04.2021
Received 16.04.2021

Т. И. Кухарчик, С. В. Какарека, М. И. Козыренко, В. Д. Чернюк, А. В. Крылович

Институт природопользования Национальной академии наук Беларуси, Минск, Беларусь

**ЭКОЛОГО-ГЕОХИМИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ
ПОСТПРОМЫШЛЕННЫХ ПЛОЩАДОК Г. МИНСКА**

Аннотация. Обсуждаются результаты изучения территорий промышленных предприятий в г. Минске, которые прекратили свою деятельность полностью или частично. Показано, что в большинстве случаев освоение промплощадок с изменением их функционального назначения осуществляется спустя 10 лет и более; в ряде случаев репрофилирование касается только производственных корпусов. По результатам рекогносцировочного обследования ряда объектов установлено, что такие предприятия после прекращения функционирования продолжают оставаться источниками распространения загрязняющих веществ. Показано обогащение тяжелыми металлами техногенных субстратов, вынесенных с промышленных площадок поверхностным стоком и сформированных в виде наносов у ливневых коллекторов и в понижениях рельефа. По сравнению с почвами превышение среднего содержания в них кадмия составляет 2,6 раза (максимальное – 3,9), свинца – 3,1 (14), меди – 2,5 (2,2), цинка – 1,7 (2,8), никеля – 3,3 (8,0), хрома – 3,4 (6,6) раза. Установленные нормативы по свинцу превышены в 63 % случаев, по кадмию – 77 %, по цинку и меди – в 100 % случаев. Почти в половине проб (44 %) зафиксировано 5-кратное превышение ПДК хотя бы по одному показателю. Показана зависимость накопления тяжелых металлов от специализации ранее осуществлявшейся производственной деятельности. Обсуждается необходимость совершенствования научно-методических подходов к изучению загрязненных и потенциально загрязненных постпромышленных территорий в связи с планируемым их репрофилированием для градостроительных целей.

Ключевые слова: бывшие промышленные территории, изменение функционального назначения, загрязнение почв, наносной грунт, тяжелые металлы

Для цитирования. Эколого-геохимические исследования постпромышленных площадок г. Минска / Т. И. Кухарчик [и др.] // Вес. Нац. акад. навук Беларусі. Сер. хім. навук. – 2021. – Т. 57, № 3. – С. 320–330. <https://doi.org/10.29235/1561-8331-2021-57-3-320-330>

T. I. Kukharchyk, S. V. Kakareka, M. I. Kazyrenka, V. D. Chernyuk, A. V. Krylovich

*Institute for Nature Management of the National Academy of Sciences of Belarus,
Minsk, Belarus*

ECOGEOCHEMICAL STUDIES OF THE POSTINDUSTRIAL SITES OF MINSK

Abstract. In the article the results of studying the sites of industrial enterprises, which have stopped their activities fully or partially in Minsk, are discussed. It is shown that in most cases the re-development of industrial sites with a change of their functional purpose is carried out after 10 years or more. Based on the results of preliminary investigation of a number of the former industrial sites, it was established that such sites continue to be sources of pollutants after the completion of enterprises activity. The enrichment of technogenic substrates carried out from industrial sites by surface runoff (sediments near storm collectors and in topographic lows) with heavy metals is shown. The average content of cadmium in sediments is 2,6 (maximum – 3,9), lead – 3,1 (14), copper – 2,5 (2,2), zinc – 1,7 (2,8), nickel – 3,3 (8,0), chromium – 3,4 (6,6) times higher than in soils. The established standards for lead were exceeded in 63 % of cases, for cadmium – in 77 %, for zinc and copper – in 100 % of cases. The maximum permissible concentration was exceeded 5 times for at least one indicator in almost half of the samples (44 %). The dependence of heavy metals accumulation on the specialization of previously carried out industrial activities is shown. The need for improvement of scientific and methodological approaches to studying of contaminated and potentially contaminated post-industrial areas in connection with their planned re-profiling for urban planning purposes is discussed.

Keywords: former industrial site, functional purpose change, soil contamination, surface run-off deposits, heavy metals

For citation. Kukharchyk T. I., Kakareka S. V., Kazyrenka M. I., Chernyuk V. D., Krylovich A. V. Ecogeochemical studies of the postindustrial sites of Minsk. *Vesti Natsyonal'nai akademii navuk Belarusi. Seriya khimichnykh navuk = Proceedings of the National Academy of Sciences of Belarus. Chemical Series*, 2021, vol. 57, no. 3, pp. 320–330 (in Russian). <https://doi.org/10.29235/1561-8331-2021-57-3-320-330>

Введение. Развитие городов привело к тому, что промышленные предприятия, построенные изначально на окраинах, оказались в их исторических центрах или в жилых районах. Поэтому для улучшения экологической ситуации одним из наиболее эффективных мероприятий является вынос предприятий за городскую черту. В странах Западной Европы и США такие процессы были начаты еще в 1980-х годах [1]; за более чем 30-летний период накоплен значительный опыт как в отношении определения эффективности изменения их функционального назначения, так и научно-методических подходов к изучению и оценке состояния [2–5]. Прекращение функционирования промышленных предприятий может быть обусловлено также экономическими факторами, как это произошло, например, в 1990-е годы в Москве [6] и в Киеве [7].

В Минске еще в 2003 г. в соответствии с Генпланом города выносу за городскую черту, реконструкции и модернизации подлежали 36 промышленных предприятий. В 2010 г., согласно Государственной программе строительства крупных жилых районов для жителей г. Минска в городах-спутниках и выноса (переноса) из столицы в населенные пункты республики некоторых производственных объектов (утв. постановлением Совета Министров от 29.06.2010 г. № 976), до 2020 г. намечалось вынести за пределы города 18 предприятий. Последний по дате документ, регламентирующий вынос предприятий, – Генеральный план г. Минска до 2030 г., в котором закрепляются принятые ранее положения (Генеральный план города Минска (корректировка), 2016, <http://www.minskgrado.by/documents>). Это означает, что независимо от временных рамок реализации принятых решений, в целом тенденция сохранится.

К настоящему времени в Минске насчитывается около двух десятков предприятий, на которых деятельность прекращена полностью или частично. За пределы города вынесены кожевенный завод, полиграфический комбинат, птицефабрика; прекратили работу фарфоровый завод, прядильно-ткацкое производство ОАО «Сукно», некоторые цеха ОАО «Горизонт», литейные цеха станкостроительного завода им. С. М. Кирова, ряд цехов станкостроительного завода им. Октябрьской революции, автобусный и троллейбусный парки и ряд других.

Предприятия, прекратившие свое функционирование либо вынесенные за пределы города, а также намеченные к выносу в перспективе в условиях ограниченных земельных ресурсов в городах представляют значительный потенциал для решения градостроительных задач [8]. Однако, как показывает опыт различных стран, успешность преобразования промплощадок в другие городские ландшафты зависит не только от социально-экономических и технических факторов, но и состояния территории и их загрязнения. Высокая вероятность загрязнения почв промплощадок в результате функционирования предприятий может ограничивать дальнейшее их использование.

Как известно, поступление загрязняющих веществ в почву и другие компоненты природной среды на территории промплощадок осуществляется с различными техногенными потоками: выбросами, сточными водами, отходами производства, рассеянием сырьевых материалов, аварийными ситуациями с утечками и разливами промышленных химикатов [9, 10]. К моменту, когда предприятие прекращает деятельность, почвы и другие компоненты природной среды, а также различные сооружения и конструкции оказываются загрязнены: в зарубежной литературе для обозначения промплощадок, выбывших из использования, применяется термин «brown-field» [11]. По данным [12–14], загрязнение почв на промплощадках возможно вследствие демонтажа производственных помещений и оборудования после прекращения основной деятельности.

Следует отметить, что изменение функционального назначения промплощадок – время- и трудоемкий процесс; многие промплощадки остаются неосвоенными многие годы, ухудшая эстетический вид городских ландшафтов и представляя опасность с точки зрения распространения загрязняющих веществ.

Цель настоящих исследований – анализ состояния постпромышленных территорий в г. Минске, предварительная оценка загрязнения почв и наносных грунтов как индикатора выноса загрязняющих веществ с поверхностным стоком с промплощадки.

Объекты, методы, материалы. В качестве объектов исследования выбраны территории промышленных предприятий г. Минска, прекративших деятельность или намеченных к выносу за пределы города. Используются справочные, архивные и другие доступные данные о предпри-

ятиях, международные руководства, действующие нормативно-технические документы в Беларуси. В период с 2016 по 2019 г. на территории и в зоне воздействия ряда промышленных предприятий выполнены рекогносцировочные эколого-геохимические исследования, включавшие визуальную характеристику территории, диагностируемые источники загрязнения, отбор проб и химико-аналитические определения.

Отбирались пробы почв из поверхностных горизонтов (до 10 см), а также наносные грунты, образовавшиеся в результате смыва (эрозии) почвенных частиц поверхностным стоком либо в результате механического и ветрового переносов. Кроме того, отбирались техногенные грунты, представленные в большинстве случаев насыпными или перемешанными с почвой субстратами с большим количеством техногенных включений, образовавшиеся в результате проведения работ по планированию территории, привозные грунты и т. д.

Всего в период с 2016 по 2019 г. рекогносцировочно обследованы промплощадки и территории в зоне воздействия 22 предприятий г. Минска, отобрано 99 проб: 46 проб почвы, 10 – техногенного грунта, 43 – наносных и намывных субстратов.

Определение содержания тяжелых металлов выполнено методом атомно-абсорбционной спектроскопии (ААС) в Институте природопользования НАН Беларуси.

Результаты и их обсуждение. Потенциальные источники загрязнения почв на предприятиях, прекративших функционирование полностью или частично. Как показано выше, на территории г. Минска насчитывается значительное количество предприятий, прекративших деятельность. Так, одним из первых предприятий, вынесенных за пределы г. Минска, явился кожевенный завод, в последующем – полиграфический комбинат, птицефабрика, троллейбусное депо, завод вычислительной техники, автобусный парк № 1, аэропорт Минск-1, Минский авиаремонтный завод и др. (табл. 1). В целом же к настоящему времени полностью прекратил деятельность фарфоровый завод, закрыта значительная часть производственных процессов на предприятиях «Горизонт», станкостроительных заводах им. С. М. Кирова и им. Октябрьской революции.

Т а б л и ц а 1. Общая характеристика некоторых предприятий, прекративших деятельность полностью или частично

Table 1. General characteristics of some enterprises that have stopped their activities fully or partially

| Название предприятия, местоположение | Годы работы | Потенциальные источники загрязнения почв | Статус по состоянию на 2019 г. |
|---|--|--|---|
| ОАО «Минский фарфорово-фаянсовый завод», ул. Кропоткина | С 1883 г. – Минский изразцовый завод, с 1951 г. фарфорово-фаянсовый завод | Сырьевые материалы, содержащие кобальт и его соли, золото, другие металлы, использованные в составе красок (глазурей); соединения фтора и хлора; отходы процессов обжига и др. | В период 2000–2008 гг. производство остановилось; с 2009 г. завод полностью прекратил деятельность. Корпуса пустовали почти 10 лет; в 2018 г. – демонтаж отдельных корпусов. В 2020 г. начато строительство жилого здания |
| Троллейбусный парк № 1, ул. Киселева–ул. Красная | С 1929 г. – трамвайное депо; с 1952 г. – троллейбусный парк | Растворители и лакокрасочные материалы для смывки и покраски корпусов, продукты износа шин, процессов металлообработки | Не эксплуатируется с 2003 г., заброшенные здания |
| ОАО «Полиграфкомбинат им. Я. Коласа», пл. Я. Коласа | С 1956 г. | Пигменты и отходы, содержащие тяжелые металлы; утечки растворителей, поверхностно-активных веществ, кислот | Производство вынесено на площадку Минской фабрики цветной печати с 2009 г. Оборудование демонтировано, здания пустуют |
| ОАО «МПОВТ», пл. Я. Коласа–ул. В. Хоружей–ул. Кульман | В 1959 г. – производство электронно-вычислительных машин, в 1974 г. – литейно-пластмассовое, в 1976 г. – механообработывающее и производство защитных покрытий | Химические препараты для травления, нанесения покрытий, отходы гальванических процессов; отходы литья и использования пластмасс | В 2014 г. производство вынесено на площадку головного предприятия по ул. Притыцкого. Часть старых цехов перепрофилирована. В 2018 г. ряд производственных корпусов демонтирован; начато строительство |

Окончание табл. 1

| Название предприятия, местоположение | Годы работы | Потенциальные источники загрязнения почв | Статус по состоянию на 2019 г. |
|--|---|--|---|
| ЗАО «Совавто-Минск», автобусный парк № 1, ул. Олешева, 5 | Предприятие функционирует около 30 лет | Утечки и разливы топлива, смазочных масел, антифризов, моющих средств; продукты износа шин и тормозных колодок | В 2012 г. вынесен за пределы города; в 2016 г. здания и инфраструктура разрушены, демонтированы. Строительство жилого квартала |
| РУП «Минский авиаремонтный завод» РУП «Аэропорт Минск-1» | С 1953 г. авиаремонтная база; с 1962 г. – завод гражданской авиации. Аэропорт – с 1933 по 2015 г. | Растворители и лакокрасочные материалы для смывки и покраски корпусов, продукты износа шин, сгорания топлива, процессов металлообработки | С 2015 по 2018 г. аэропорт использовался для обслуживания завода. В 2018 г. завод перенесен на территорию Национального аэропорта Минск. К концу 2019 г. демонтаж зданий завершен; начато строительство комплекса «Минск–Мир» |
| ОАО «Сукно», ул. К. Цеткин | С 1945 г. – прядильная фабрика | Химические препараты для крашения, промывки, других видов обработки пряжи | В 2015 г. производство вынесено на площадку по ул. Матусевича, 33. Корпуса не используются. Часть промплощадки отведена под строительство метро |
| ОАО «Станкостроительный завод им. С. М. Кирова», ул. Красноармейская | С 1881 г. – машиностроительный и чугунно-медно-металлургический завод; с 1934 г. – выпуск станков | Рассеивание золы, пыли и шламов литейного производства; утечки обезжиривателей, лакокрасочных материалов, растворителей, отходы гальванических процессов; утечки топлива | В 2005 г. литейное производство ликвидировано; часть процессов перенесена на Минский завод автоматических линий им. П. М. Машерова. Часть территории в 2013 г. продана компании «Белнефтегаз»; перестройка не начиналась |
| ОАО «МЗОР» ул. Октябрьская | С 1907–1908 гг. – чугунно-литейный и металлообрабатывающий цеха; с 1927 г. – металлообрабатывающие станки | То же | Ряд процессов закрыт, оборудование в корпусах демонтировано. Некоторые здания имеют историко-культурную ценность |
| ОАО «Галантея» ул. К. Цеткин, 18 | Создано в 1924 г.; в 1929 г. – шорно-галантерейная фабрика «Восход» | Отходы клея, обезжиривателей, лаков | Частично сокращены производственные площади в связи со строительством метро |
| ОАО «Амкодор-Белвар» ул. Гикало | С 1907 г. – лесопилка; с 1939 г. – радиозавод; с 1958 г. – приборостроительный завод | Отходы процессов обработки металла и пластика; ПАВ, составы для обезжиривания, гальваники, лакокрасочные материалы | Значительная часть производственных помещений сдается в аренду (в том числе бывший гальванический цех, котельная) |

Представленный в табл. 1 перечень предприятий не является исчерпывающим; приведенные данные лишь иллюстрируют разнообразие производственных процессов, которые осуществлялись на бывших промплощадках, и соответственно источников поступления загрязняющих веществ в окружающую среду, а также длительный период функционирования многих предприятий. В перечне старейших предприятий города, насчитывающих более 100 лет, фарфорово-фаянсовый и кожевенный заводы, станкостроительный завод им. С. М. Кирова, станкостроительный завод им. Октябрьской революции (МЗОР), ОАО «Белвар-Амкодор».

Характерная особенность промышленных предприятий – изменение и/или дополнение производственных процессов за время их существования. Так, история фарфорово-фаянсового завода начиналась с создания изразцово-гончарного производства, которое в 1930-е годы расширилось за счет выпуска глазурованных кафелей, серой плитки и другой продукции, в 1946 г. – глазурованных и неглазурованных изразцов и кафеля, в 1948 г. – производства силикат-глыб-заготовок для стеклоизделий, в 1953 г. – радиокерамики. Станкостроительный завод им. С. М. Кирова является преемником Кошарского машиностроительного и чугунно-медно-металлургического завода, который в 1925 г. был переименован в «Металлист», в 1928 г. – в «Коммунар». Станкостроительное производство было организовано с 1934 г. Минский станкостроительный завод им. Октябрьской революции (МЗОР) создан на базе завода «Гигант», начавшего работу 1907–1908 гг.

как чугуно-литейное и металлообрабатывающее производство. Выпуск металлообрабатывающих станков организован с 1927–1928 гг. Начало деятельности нынешнего ОАО «Белвар-Амкор» связано с лесопильным производством, затем с лесопильно-мебельным; в 1929 г. создан радиозавод, преобразованный в 1958 г. в приборостроительный. Изменения производственных процессов характерны также и для других предприятий (см. табл. 1). Рассматривая постпромышленные территории можно предположить, что менялись и границы производственных территорий, перечень и местоположение источников воздействия. Важное обстоятельство, которое следует принимать во внимание, – время «неиспользования» промышленных предприятий. Оно варьирует от 5 до 10 лет и более. Следует отметить, что для всех промышленных производств характерно наличие собственных трансформаторных подстанций, автотранспортных средств, на некоторых собственных котельных установках, что расширяет перечень источников загрязнения.

Выполненные исследования показали, что состояние производственных помещений и собственно промплощадок неиспользуемых предприятий во многих случаях неудовлетворительное; имеются полуразрушенные здания, остатки недемонтированного оборудования; возле цехов и в цехах в ряде случаев хранятся производственные и строительные отходы, остатки сырьевых материалов. Согласно [15], с течением времени на заброшенных промплощадках происходит трансформация техногенного покрова, форм антропогенного рельефа, почвенного покрова и растительности.

Опираясь на опыт зарубежных стран [12–14], а также результаты собственных эколого-геохимических исследований можно заключить, что производственные корпуса или отдельные их участки, складские помещения, контейнеры, технологические установки (печи обжига, гальванические ванны, трубопроводы, транспортеры, миксеры, дозаторы и пр.) могут быть загрязнены опасными веществами, содержащимися в различных типах масел, топлива, пигментов, лакокрасочных материалов, растворителей, сырьевых материалах и добавках. Несомненно, процессы коррозии и разрушения строительных конструкций, ветровой и механический переносы сыпучих субстратов, техногенных грунтов, поверхностная водная эрозия незадернованных или слабозадернованных почв и грунтов способствуют распространению загрязняющих веществ за пределы промплощадок.

В целом особого внимания заслуживают источники, связанные с обращением с промышленными химикатами, которые используются как в твердом, так и в жидком агрегатном состоянии для различных производственных процессов. Их рассеяние, утечки и разливы при транспортировке, смешивании, хранении, обращении с загрязненной тарой и отходами приводит к наиболее высоким уровням загрязнения почв [9, 16].

Загрязнение почв и других субстратов тяжелыми металлами. Результаты изучения содержания тяжелых металлов в почвах и других субстратах, отобранных на территории и в зонах влияния промышленных предприятий в г. Минске, представлены в табл. 2.

Установлено, что в 100 % отобранных проб обнаруживаются свинец, медь, цинк и никель; в 87 % проб почв, 95 % проб наносных и намывных субстратов и 90 % проб техногенного грунта – кадмий; присутствие хрома отмечено в 98 % почв и 100 % проб иных обследованных субстратов. Максимальные концентрации кадмия в почвах промплощадок составляют 2,8 мг/кг, в наносных грунтах – 10,9, в техногенных – 1,8 мг/кг; свинца – 105,4, 1453,6 и 88,6 мг/кг; меди – 525,7, 1178,3 и 54,1 мг/кг; цинка – 588,6, 1657,2 и 1241,1 мг/кг; никеля – 27,3, 225,9 и 11,7 мг/кг; хрома – 50,9, 335,5 и 15,9 мг/кг соответственно.

Наиболее высокие содержания всех элементов характерны для наносных и намывных субстратов. По сравнению с почвами среднее содержание в них кадмия в 2,6 раза, свинца – 3,1, меди – 2,5, цинка – 1,7, никеля – 3,3, хрома – 3,4 раза выше. Максимальные же значения различаются более существенно: свинца – в 14 раз, никеля – 8, хрома – 6,6, кадмия – 3,9, цинка – 2,8, меди – в 2,2 раза. Наличие статистически значимых различий между содержанием тяжелых металлов в почве и наносных и намывных субстратах проверялось с помощью непараметрического U-критерия Манна–Уитни для независимых выборок (данные по содержанию тяжелых металлов в почвах не подчиняются нормальному закону распределения по результатам теста Шапиро–Уилка). Результаты анализа подтвердили статистически значимые различия по всем элементам, кроме хрома.

Таблица 2. Основные статистические параметры содержания тяжелых металлов в пробах почв и других субстратов, отобранных на территории и в зонах влияния промышленных предприятий в г. Минске (2016–2019 гг.)

Table 2. The basic statistical parameters of heavy metals content in soil samples and other substrates taken on the territory and in impact zones of industrial enterprises in Minsk (2016–2019)

| Субстрат (количество проб) | Параметр | Содержание тяжелых металлов, мг/кг | | | | | |
|---|--------------------------------------|------------------------------------|--------|--------|--------|-------|-------|
| | | Cd | Pb | Cu | Zn | Ni | Cr |
| Почва (46) | Среднее | 0,7 | 30,3 | 58,8 | 122,8 | 5,6 | 12,8 |
| | Медиана | 0,5 | 19,8 | 21,7 | 71,0 | 3,6 | 7,7 |
| | Стандартное отклонение | 0,6 | 22,4 | 110,0 | 116,2 | 5,8 | 11,6 |
| | Минимум | 0,0 | 3,6 | 3,3 | 11,2 | 0,6 | 0,0 |
| | Максимум | 2,8 | 105,4 | 525,7 | 588,6 | 27,3 | 50,9 |
| | K_c^* | 3,5/1,8 | 3 | 11,8 | 6,1 | 1,1 | –** |
| | Встречаемость проб с $K_c > 1,5$, % | 74/87 | 67 | 85 | 87 | 24 | – |
| | Доля проб с превышением ПДК/ОДК, % | 50 | 39,1 | 34,8 | 65,2 | 4,3 | 0 |
| Наносные и намывные субстраты (43) | Среднее | 1,8 | 95,9 | 104,2 | 365,5 | 15,4 | 33,4 |
| | Медиана | 0,7 | 42,1 | 50,2 | 236,2 | 5,4 | 10,9 |
| | Стандартное отклонение | 2,8 | 225,8 | 207,4 | 365,6 | 37,9 | 73,9 |
| | Минимум | 0,0 | 8,7 | 11,8 | 62,5 | 0,9 | 0,5 |
| | Максимум | 10,9 | 1453,6 | 1178,3 | 1657,2 | 225,9 | 335,5 |
| | K_c | 9/4,5 | 9,6 | 20,8 | 18,3 | 3,1 | – |
| | Встречаемость проб с $K_c > 1,5$, % | 93/95 | 77 | 100 | 100 | 33 | – |
| | Доля проб с превышением ПДК/ОДК, % | 76,7 | 62,8 | 67,4 | 100 | 9,3 | 9,3 |
| Техноген- ный грунт (10) | Среднее | 0,7 | 32,2 | 25,9 | 304,1 | 3,7 | 6,9 |
| | Медиана | 0,6 | 21,1 | 24,0 | 62,4 | 2,1 | 6,2 |
| | Стандартное отклонение | 0,6 | 27,5 | 15,1 | 471,0 | 3,7 | 4,2 |
| | Минимум | 0,0 | 5,8 | 8,6 | 23,8 | 1,0 | 2,0 |
| | Максимум | 1,8 | 88,7 | 54,1 | 1241,1 | 11,7 | 15,9 |
| | K_c | 3,5/1,8 | 3,2 | 5,2 | 15,2 | 0,7 | – |
| | Встречаемость проб с $K_c > 1,5$, % | 80/90 | 70 | 100 | 90 | 20 | – |
| | Доля проб с превышением ПДК/ОДК, % | 50 | 30 | 30 | 60 | 0 | 0 |

Примечание. K_c – коэффициент концентрации по отношению к общегородскому фону на территории г. Минска по данным [10].

** Нет данных.

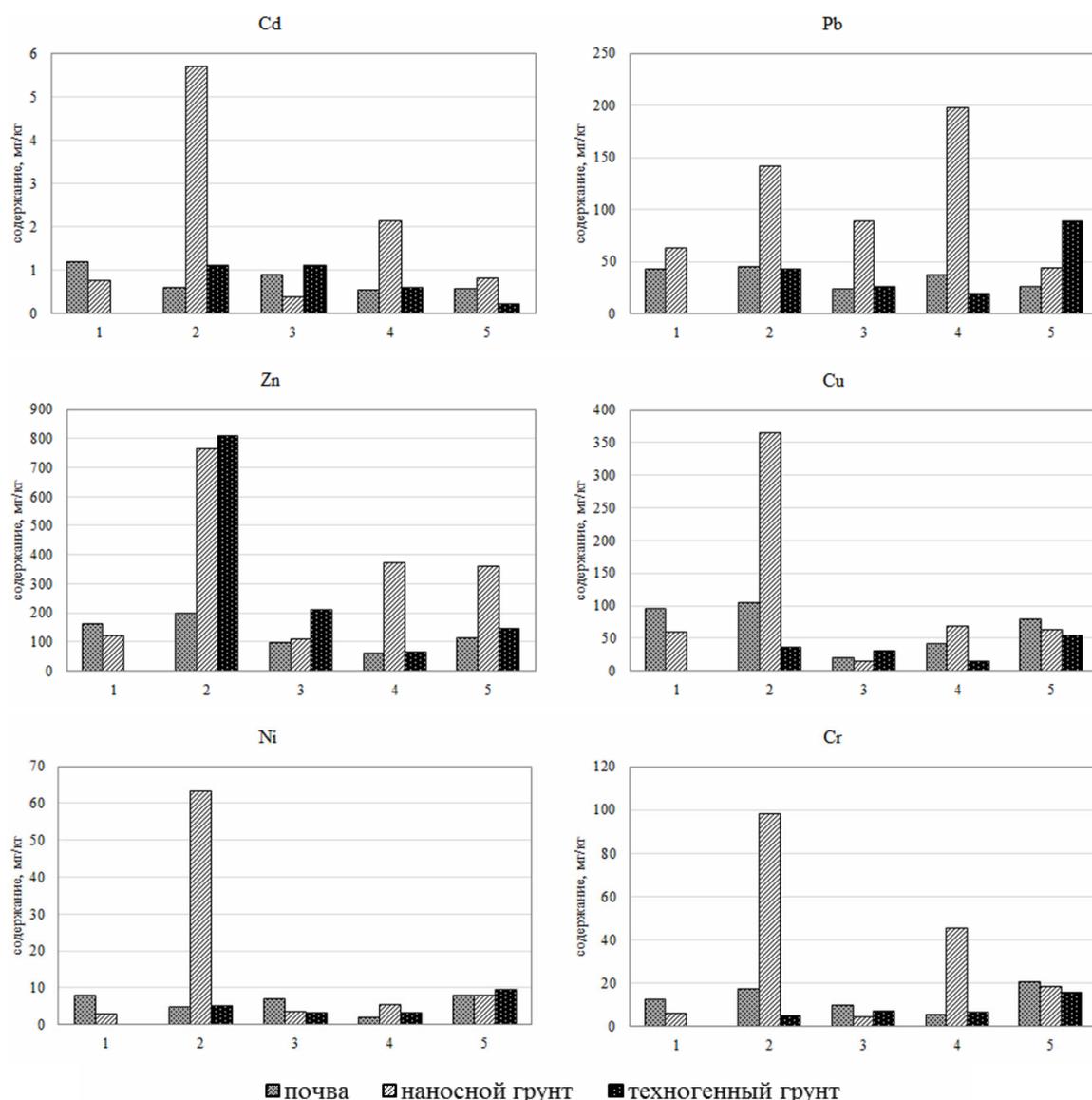
Сравнение полученных концентраций с общегородским фоном показало в ряде случаев его существенное превышение ($K_c > 1,5$). Наиболее высокая встречаемость таких проб характерна для наносных и намывных субстратов, в них данная величина составила 100 % для меди и цинка, для кадмия – была близка к этому показателю (до 95 %). В техногенном грунте встречаемость проб с $K_c > 1,5$ достигала 100 % для меди, для остальных металлов данная величина варьировала в диапазоне 20–90 %. Для почв в целом характерны более низкие значения коэффициентов концентрации; доля проб с превышением K_c более чем в 1,5 раза для различных элементов составила 24–87 %.

Высок удельный вес проб, в которых превышены установленные нормативы для почв промышленных территорий. Доля таких проб для почв с превышением ПДК для цинка составляет 65 %, кадмия – 50, свинца – 40 и меди – 35 %. Для наносных и намывных грунтов превышение ПДК для цинка и меди фиксируется в 100 % случаев, кадмия – в 77 и свинца – 63 %. Максимальные превышения установленных предельных уровней в почвах отмечены для цинка и меди – до 10,7 и 15,9 раза соответственно; в наносных и намывных субстратах – для цинка, меди и свинца (30,1, 35,7 и 45,4 раза), в техногенном грунте – для цинка (до 22,6 раза). В наносных и намывных субстратах обнаружено также существенное превышение ОДК по кадмию (до 21,9 раза). При-

веденная кратность превышения ПДК/ОДК, как и встречаемость проб, будут еще выше, если принимать во внимание планируемое (или уже осуществляемое) репрофилирование производственных территорий для жилых или социально-культурных целей.

Полученные данные подтверждают предположение о зависимости накопления тяжелых металлов от специализации предприятий и осуществлявшейся деятельности (рисунок).

Как показали результаты исследований, наибольшие различия в содержании тяжелых металлов между предприятиями проявляются для наносных и намывных грунтов, загрязнение которых может быть связано с наличием на промплощадках отходов. Так, в субстратах, вынесенных с территории завода гражданской авиации с поверхностным стоком, зафиксированные концентрации цинка в 15 раз превышают установленные нормативы для почв, кадмия – в 20, свинца – в 45 раз. На территории бывшего завода по производству вычислительной техники максимальное содержание кадмия более чем в 20 раз превышает ПДК, меди – в 35, никеля – в 11, цинка –



Среднее содержание тяжелых металлов в пробах субстратов, отобранных в зонах воздействия предприятий различного профиля: 1 – приборостроение, производство бытовой техники; 2 – производство и демонтаж ЭЭО; 3 – производство строительных материалов; 4 – ремонт и обслуживание транспортных средств; 5 – станко-, машиностроение

Mean content of heavy metals in substrate samples taken in impact zones of industrial enterprises: 1 – instrumentation, production of household appliances; 2 – production and dismantling of EEE; 3 – production of building materials; 4 – transport repair and service; 5 – machine-tool construction, mechanical engineering

в 30, свинца – в 6 раз. Вероятный источник тяжелых металлов в обоих случаях – гальванические производства и рассеяние шламов.

В то же время средние уровни тяжелых металлов в почвах промплощадок различных производственных процессов не отличаются существенной вариабельностью. Наиболее высокие концентрации большинства тяжелых металлов зафиксированы в зонах воздействия предприятий двух основных профилей, схожих по перечню возможных используемых в технологическом процессе сырья и материалов: приборостроение, производство бытовой техники; производство и демонтаж ЭЭО: среднее содержание кадмия составило соответственно 1,2 и 0,6 мг/кг; свинца – 42,3 и 45,1; меди – 96,2 и 104,0; цинка – 163,8 и 199,1 мг/кг. Сравнительно высокие уровни содержания никеля (среднее – 7,8 мг/кг, максимальное – 27,3 мг/кг) и хрома (среднее – 20,6 мг/кг, максимальное – 50,9 мг/кг) в почвах характерны для предприятий станко- и машиностроения.

Содержание тяжелых металлов в техногенных грунтах близко по уровням к почвам. Наиболее высокие средние концентрации в них отмечаются для свинца, цинка и никеля в зоне воздействия предприятий станко- и машиностроения, цинка – при производстве стройматериалов.

В целом полученные данные свидетельствуют о высоких уровнях загрязнения почв и техногенных субстратов на промплощадках различного профиля, а также о распространении загрязняющих веществ за их пределы. Для превращения бывшей промплощадки, например, в жилую зону требуются мероприятия по ее очистке от загрязняющих веществ и обоснованию пригодности по новому целевому назначению.

Перспективы исследований. Выполненные исследования позволяют заключить, что изучение постпромышленных площадок сохранит свою актуальность в ближайшие годы. Согласно Генеральному плану с корректировкой 2016 г., в перечне предприятий, подлежащих выносу за пределы города, ОАО «Кристалл», дрожжевой комбинат, обувная фабрика, ОАО «Керамин», парниково-тепличный комбинат, предприятия грузового транспорта и др. Уже сейчас на другую производственную площадку перенесено производство тонкосуконного комбината ОАО «Камволь». О широком перечне постпромышленных территорий, появляющихся в городе, свидетельствует перечень объектов, выставленных на продажу и включающих, например, ртутный цех, мазутохранилище, красильный цех, склад масел и многие другие на ОАО «Камволь», здания «Горизонт», ОАО «Минский механический завод им. С. И. Вавилова» (Информация об объектах производственных, складских, административных и иных, расположенных в городе Минске, предлагаемых ОАО с долей государства к продаже (инвесторам), <https://minsk.gov.by/ru/org/8644/attach/e635354/>).

Планируемое или осуществляемое изменение целевого назначения постпромышленных территорий для жилых районов или торгово-развлекательных комплексов предполагает очистку загрязненных почв ниже ПДК, установленных для таких функциональных зон. В этой связи весьма важно получить предварительную информацию о состоянии и уровнях загрязнения почв всех промышленных предприятий города как основу планирования дальнейших действий. Кроме того, информация о состоянии почв могла бы стать частью характеристики объекта, выставляемого на продажу, а также способствовало бы определению приоритетных действий в зависимости от уровня загрязнения.

Зафиксированные высокие уровни загрязнения почв тяжелыми металлами на обследованных промплощадках и прилегающих территориях согласуются с ранее полученными результатами [9, 16, 17]. Данные же о загрязнении наносных грунтов и широкой вариабельности значений свидетельствуют об участии в их формировании не только почвенных частиц, вынесенных с промышленных площадок поверхностным стоком, но и попадании в них различных отходов, обогащенных металлами (уловленной пыли, золошлаковых отходов и др.). В этой связи представляется целесообразным развитие исследований с расширением списка анализируемых веществ в зависимости от характера производственных процессов, применяемых сырьевых материалов и другой технологической информации. Особого внимания заслуживают места складирования сырья и отходов, цеха литья, гальванических производств, покрасочных цехов, а также цехов, где в больших объемах использовались растворители и другие химические препараты. Следует отметить также необходимость изучения выноса загрязняющих веществ с промплощадок

с поверхностным стоком с целью предотвращения их рассеяния и попадания в почву сопредельных территорий или в аквальные системы. Данная проблема весьма актуальна для урбанизированных территорий, особенно в зонах избыточного увлажнения [18].

Важным представляется своевременность получения информации об уровнях загрязнения окружающей среды на промплощадке, поскольку практика их использования для новых весьма разнородных видов деятельности с наличием различных природопользователей может привести к «потере» исходной информации об источниках загрязнения и их локализации. В ряде стран известны примеры, когда очистка загрязненных почв и/или подземных вод осуществлялась уже после застройки бывших промышленных территорий, в том числе с отселением жителей [19].

Исходя из принципа предосторожности, который является одним из основных во многих природоохранных конвенциях и общепризнан на международном уровне, все промышленные площадки должны рассматриваться как потенциально загрязненные. Их обследование и оценка состояния необходима для определения уровня загрязнения и опасности и оценки в связи с этим объема работ по очистке с учетом изменения целевого назначения территории и требуемых затрат. Знание ситуации, детализация в пространстве и по глубине – это основа принятия решений, расчета стоимости затрат, которые должны учитываться при продаже/покупке земли, разработке инвестиционных проектов.

В зависимости от целей и задач исследований работы по выявлению потенциально загрязненных территорий могут осуществляться дифференцированно: для сходных производственных процессов/источников (например, имеющих литейные цеха, гальванические производства, осуществляющих обработку кожи/текстиля и др.); по веществам, исходя из их мобильности, устойчивости, токсичности (свинец, ртуть, полихлорированные бифенилы, полициклические ароматические углеводороды, диоксины, бромсодержащие антипирены, растворители); по источникам поступления (с сырьем, материалами, отходами, сточными водами, выбросами).

Заключение. На примере города Минска охарактеризовано состояние ряда промышленных предприятий, которые прекратили свою деятельность полностью или частично. Показано, что в большинстве случаев освоение промплощадок с изменением их функционального назначения осуществляется спустя 10 лет и более; в ряде случаев перепрофилирование касается только производственных корпусов либо части бывшей промплощадки. По результатам рекогносцировочного обследования ряда объектов установлено, что такие предприятия после прекращения функционирования продолжают оставаться источниками распространения загрязняющих веществ за счет выноса твердых частиц с поверхностным стоком. Наиболее высокие содержания всех элементов характерны для наносных и намывных субстратов: по сравнению с почвами превышение среднего содержания в них кадмия составляет 2,6 раза (максимальное – 3,9), свинца – 3,1 (14), меди – 2,5 (2,2), цинка – 1,7 (2,8), никеля – 3,3 (8,0), хрома – 3,4 (6,6) раза. Установленные нормативы по свинцу превышены в 63 % случаев, по кадмию – 77, по цинку и меди – в 100 % случаев. Показана зависимость накопления тяжелых металлов от специализации ранее осуществлявшейся производственной деятельности. Обсуждается необходимость совершенствования научно-методических подходов к изучению загрязненных и потенциально загрязненных пост-промышленных территорий в связи с планируемым их перепрофилированием для градостроительных целей.

Благодарности. Работа выполнена в рамках Государственной программы научных исследований «Природопользование и экология», подпрограммы «Природные ресурсы и экологическая безопасность»; № госрегистрации 20160130 (2016–2018); № госрегистрации 20192480 (2019–2020).

Acknowledgements. The study has been performed within The State Program of Scientific Research «Nature management and ecology», subprogram «Natural resources and environmental safety»; state registration no. 20160130 (2016–2018); state registration no. 20192480 (2019–2020).

Список использованных источников

1. Insight into a 20-ha multicontaminated brownfield megasite: An environmental forensics approach / J. R. Gallego [et al.] // *Sci. Total Environ.* – 2016. – Vol. 563-564. – P. 683–692. <http://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.09.153>.
2. New manufacturing on old Brownfields [Electronic resource]. – U.S. Environmental Protection Agency, 2015. – Mode of access: https://www.epa.gov/sites/production/files/2016-10/documents/manufacturing_guide_10-14-16_fnl.pdf. – Date of access: 26.06.2020.

3. Contaminated Sites: From Mapping and Investigation to Redevelopment of Brownfield Sites [Electronic resource]. – 2015. – Mode of access: <https://cowi.b-cdn.net/-/media/cowi/documents/contaminatedsites.pdf?la=en>. – Date of access: 08.04.2020.
4. Industrial Sites Reuse Program. Program Guidelines [Electronic resource]. – 2017. – Mode of access: <https://dced.pa.gov/download/industrial-sites-reuse-program-isrp-guidelines-2017/?wpdmdl=59834>. – Date of access: 08.04.2020.
5. Alberta Tier 1 Soil and Groundwater Remediation Guidelines [Electronic resource]. – 2019. – Mode of access: <https://open.alberta.ca/dataset/842becf6-dc0c-4cc7-8b29-e3f383133ddc/resource/a5cd84a6-5675-4e5b-94b8-0a36887c588b/download/albertatier1guidelines-jan10-2019.pdf>. – Date of access: 15.05.2020.
6. Из промзоны в зону комфорта: как перестраивают заброшенные заводские территории [Электронный ресурс] // Официальный сайт мэра Москвы. – Режим доступа: <https://www.mos.ru/news/item/78744073/>. – Дата доступа: 21.08.2020.
7. Підгрушний, Г. П. Виробничі території Києва: методологія дослідження та історія формування / Г. П. Підгрушний, М. Д. Бикова // Укр. геогр. журн. – 2018. – № 4. – С. 25–32.
8. Hagemann, P. Prediction and minimization of emissions during deconstruction measures. Technical Guideline. Deliverable D5.3 version 3 of EC funded TIMBRE project (FP7-ENV-2010.3.1.5-2-265364) [Electronic resource] / P. Hagemann, M. Kuhne, S. Bartke. – 2013. – Mode of access: https://www.researchgate.net/publication/268713734_Prediction_and_minimization_of_emissions_during_deconstruction_measures_-_Technical_Guideline_-_TIMBRE_Deliverable_53. – Date of access: 22.07.2017.
9. Городская среда: геоэкологические аспекты / В. С. Хомич [и др.] – Минск: Бел. наука, 2012. – 426 с.
10. Rodríguez-Eugenio, N. Soil Pollution: a hidden reality / N. Rodríguez-Eugenio, M. McLaughlin, D. Pennock. – Rome, FAO, 2018. – 142 p.
11. Brownfields Road Map to Understanding Options for Site Investigation and Cleanup [Electronic resource] / US Environmental Protection Agency (USEPA). – 6th ed. – 2017. – Mode of access: <https://www.epa.gov/sites/production/files/2017-11/documents/brownfieldsroadmapera542-r-12-001.pdf>. – Date of access: 07.02.2021.
12. Brownfields and Redevelopment of Urban Areas. A report from the Contaminated Land Rehabilitation Network for Environmental Technologies CLARINET / eds. U. Ferber, D. Grimski. – Austria: Umweltbundesamt GmbH. Federal Environmental Agency, 2003. – 138 p.
13. Lead in Construction. U.S. Department of Labor. Occupational Safety and Health Administration. OSHA 3142-12R. 2004 [Electronic resource]. – Mode of access <https://www.osha.gov/sites/default/files/publications/osha3142.pdf>. – Date of access: 26.07.2017.
14. The Management of Brownfields redevelopment. A Guidance Note [Electronic resource] // World Bank. – 2010. – Mode of access: <https://documents.worldbank.org/en/publication/documents-reports/documentdetail/754171468295822120/the-management-of-brownfields-redevelopment-a-guidance-note>. – Date of access: 26.02.2021.
15. Тютюнник, Ю. Г. Производственные ландшафты и их демутиация (на примере свеклосахарной промышленности Украины) / Ю. Г. Тютюнник, Н. А. Пашкевич, Л. М. Губарь // Изв. РГО. – 2019. – Т. 151. – Вып. 5. – С. 48–66. <https://doi.org/10.31857/S0869-6071151548-66>
16. Козыренко, М. И. Загрязнение почв при производстве лакокрасочных материалов / М. И. Козыренко, Т. И. Кухарчик // Геоэкология. Инженерная геология. Гидрогеология. Гидрокриология. – 2015. – № 3. – С. 230–238.
17. Хомич, В. С. Экогеохимия городских ландшафтов Белоруси / В. С. Хомич, С. В. Какарека, Т. И. Кухарчик. – Минск: Минсктиппроект, 2004. – 260 с.
18. Heavy metal contamination in surface runoff sediments of the urban area of Vilnius, Lithuania / G. Ignatavičius [et al.] // Estonian Journal of Earth Sciences. – 2017. – Vol. 66, N 1. – P. 13–20. <https://doi.org/10.3176/earth.2017.04>
19. Rehabilitation of soils from industrial pollution [Electronic resource] // Horizon 2020. – Mode of access: <https://www.h2020.net/resources/publications/category/34-publications>. – Date of access: 10.03.2021.

References

1. Gallego J. R., Rodríguez-Valdés E., Esquinas N., Fernández-Braña A. Insight into a 20-ha multicontaminated brown-field megasite: An environmental forensics approach. *Science of The Total Environment*, 2016, vol. 563-564, pp. 683–692. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.09.153>
2. *New manufacturing on old Brownfields*. U.S. Environmental Protection Agency, 2015. Available at: https://www.epa.gov/sites/production/files/2016-10/documents/manufacturing_guide_10-14-16_fnl.pdf. (accessed 26 June 2020).
3. *Contaminated Sites: From Mapping and Investigation to Redevelopment of Brownfield Sites*. 2015. Available at: <https://cowi.b-cdn.net/-/media/cowi/documents/contaminatedsites.pdf?la=en>. (accessed 08 April 2020).
4. *Industrial Sites Reuse Program. Program Guidelines*. 2017. Available at: <https://dced.pa.gov/download/industrial-sites-reuse-program-isrp-guidelines-2017/?wpdmdl=59834> (accessed 08 April 2020).
5. *Alberta Tier 1 Soil and Groundwater Remediation Guidelines*. 2019. Available at: <https://open.alberta.ca/dataset/842becf6-dc0c-4cc7-8b29-e3f383133ddc/resource/a5cd84a6-5675-4e5b-94b8-0a36887c588b/download/albertatier1guidelines-jan10-2019.pdf>. (accessed 15 May 2020).
6. From an industrial zone to a comfort zone: how abandoned factory territories are rebuilt. *Official website of the Mayor of Moscow*. Available at: <https://www.mos.ru/news/item/78744073/>. (accessed 21 August 2020).
7. Pidhrushnii H. P., Bykova M. D. The industrial areas of Kiev: the research methodology and formation history. *Ukrains'kii geografichnii zhurnal = Ukrainian geographical journal*, 2018, no. 4, pp. 25–32 (in Ukrainian). <https://doi.org/10.15407/ugz2018.04.025>

8. Hagemann P., Kuhne M., Bartke S. *Prediction and minimization of emissions during deconstruction measures. Technical Guideline. Deliverable D5.3 version 3 of EC funded TIMBRE project (FP7-ENV-2010.3.1.5-2-265364)* Available at: https://www.researchgate.net/publication/268713734_Prediction_and_minimization_of_emissions_during_deconstruction_measures_-_Technical_Guideline_-_TIMBRE_Deliverable_53. (accessed 22 July 2017).
9. Khomich V. S., Kakareka S. V., Kukharchyk T. I., Krauchuk L. A., Struk M. I., Kadackaya O. V., Bykova N. K., Haradzieckii D. Yu., Zhyunach S. H., Kazyrenka M. I., Kamarouskiy M. E., Krukowskaya O. Yu., Kurman P. V., Aucharova A. P., Ryzhikau U. A., Sauchanka S. V., Sanets A. V. *Urban environment: geoecological aspects*. Minsk, Belaruskaya navuka Publ., 2012. 426 p. (in Russian).
10. Rodriguez-Eugenio N., McLaughlin M., Pennock D. *Soil Pollution: a hidden reality*. Rome, FAO, 2018. 142 p.
11. US Environmental Protection Agency (USEPA). *Brownfields Road Map to Understanding Options for Site Investigation and Cleanup*. 6th ed. 2017. Available at: <https://www.epa.gov/sites/production/files/2017-11/documents/brownfieldsroadmapera542-r-12-001.pdf> (accessed 07 February 2021).
12. Ferber U., Grimski D. (eds.) *Brownfields and Redevelopment of Urban Areas. A report from the Contaminated Land Rehabilitation Network for Environmental Technologies CLARINET*. Austria, Umweltbundesamt GmbH. Federal Environmental Agency, 2003. 138 p.
13. *Lead in Construction*. U.S. Department of Labor. Occupational Safety and Health Administration. OSHA 3142-12R. 2004. Available at: <https://www.osha.gov/sites/default/files/publications/osha3142.pdf> (accessed 26 July 2017).
14. The Management of Brownfields redevelopment. A Guidance Note. *World Bank*. 2010. Available at: <https://documents.worldbank.org/en/publication/documents-reports/documentdetail/754171468295822120/the-management-of-brown-fields-redevelopment-a-guidance-note>. (accessed 26 February 2021).
15. Tyutyunnik Yu. G., Pashkevych N. A., Gubar L. M. Production landscapes and their demutation (on the example of sugar beet industry of Ukraine). *Izvestiya Russkogo geograficheskogo obshchestva*, 2019, vol. 151, no. 5, pp. 48–66 (in Russian). <https://doi.org/10.31857/S0869-6071151548-66>
16. Kazyrenka M. I., Kukharchyk T. I. Soil pollution by paint and varnish production. *Geoekologiya. Inzhenernaya geologiya. Hidrogeologiya. Hidrokriologiya = Geoecology. Engineering geology. Hydrogeology. Geocryology*, 2015, no. 3, pp. 230–238 (in Russian).
17. Khomich V. S., Kakareka S. V., Kukharchyk T. I. Ecogeochemistry of urban landscapes of Belarus. Minsk, Minsktip-proekt Publ., 2004. 260 p. (in Russian).
18. Ignatavičius G., Valskys V., Bulskaya I., Paliulis D., Zigmontienė A., Satkūnas J. Heavy metal contamination in surface runoff sediments of the urban area of Vilnius, Lithuania. *Estonian Journal of Earth Sciences*, 2017, vol. 66, no. 1, pp. 13–20. <https://doi.org/10.3176/earth.2017.04>
19. Rehabilitation of soils from industrial pollution. *Horizon 2020*. Available at: <https://www.h2020.net/resources/publications/category/34-publications> (accessed 10 March 2021).

Информация об авторах

Кухарчик Тамара Иосифовна – д-р географ. наук, доцент, гл. науч. сотрудник. Институт природопользования НАН Беларуси (ул. Ф. Скорины, 10, 220076, Минск, Республика Беларусь). E-mail: tkukharchyk@gmail.com

Какарека Сергей Витальевич – д-р техн. наук, профессор, зав. лаб. Институт природопользования НАН Беларуси (ул. Ф. Скорины, 10, 220076, Минск, Республика Беларусь). E-mail: sk001@yandex.ru

Козыренко Маргарита Ивановна – канд. географ. наук, ст. науч. сотрудник. Институт природопользования НАН Беларуси (ул. Ф. Скорины, 10, 220076, Минск, Республика Беларусь). E-mail: margarita_kozyrenko@tut.by

Чернюк Владимир Дмитриевич – мл. науч. сотрудник. Институт природопользования НАН Беларуси (ул. Ф. Скорины, 10, 220076, Минск, Республика Беларусь). E-mail: chernyuk.vladimir.m@mail.ru

Крылович Анастасия Вячеславовна – науч. сотрудник. Институт природопользования НАН Беларуси (ул. Ф. Скорины, 10, 220076, Минск, Республика Беларусь). E-mail: krylovich_nastya@mail.ru

Information about the authors

Tamara I. Kukharchyk – D. Sc. (Geography), Associate Professor, Chief Researcher. Institute for Nature Management of the National Academy of Science of Belarus (10 Skoriny str., 220076, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: tkukharchyk@gmail.com

Sergey V. Kakareka – D. Sc. (Engineering), Professor, Head of the Laboratory. Institute for Nature Management of the National Academy of Science of Belarus (10 Skoriny str., 220076, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: sk001@yandex.ru

Marharyta I. Kazyrenka – Ph. D. (Geography), Senior Researcher. Institute for Nature Management of the National Academy of Science of Belarus (10 Skoriny str., 220076, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: margarita_kozyrenko@tut.by

Vladimir D. Chernyuk – Junior Researcher. Institute for Nature Management of the National Academy of Science of Belarus (10 Skoriny str., 220076, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: chernyuk.vladimir.m@mail.ru

Anastasiya V. Krylovich – Researcher. Institute for Nature Management of the National Academy of Science of Belarus (10 Skoriny str., 220076, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: krylovich_nastya@mail.ru