

## ЭКОЛОГО-ГЕОХИМИЧЕСКОЕ ИЗУЧЕНИЕ БЫВШИХ ПОЛЕЙ ФИЛЬТРАЦИИ РУПП «БЕЛОРУССКИЙ АВТОМОБИЛЬНЫЙ ЗАВОД»

О. В. ЛУКАШЁВ<sup>1)</sup>

<sup>1)</sup>Белорусский государственный университет,  
пр. Независимости, 4, 220030, г. Минск, Республика Беларусь

На примере бывших полей фильтрации РУПП «Белорусский автомобильный завод» (г. Жодино) показано, что в условиях значительного поверхностного загрязнения моренных отложений металлосодержащими шламами, включающими в себя элементы очень низкой (Cr), низкой (Pb) и средней (Ni, Cu) геохимической подвижности, повторные контрольные замеры содержания в них металлов на глубинах до 50 см от раздела шлам/грунт целесообразно проводить с периодичностью 1 раз в 8–10 лет. Кардинальное улучшение эколого-геохимического состояния данной территории было достигнуто путем снятия слоя загрязнителя и подстилающего грунта на 7–24 см, после чего исследованный участок стал пригоден для использования под жилищное строительство (кроме индивидуального).

**Ключевые слова:** почва; химические элементы; геохимическая миграция.

## THE ECOLOGICAL GEOCHEMICAL INVESTIGATION OF THE FORMER FIELDS OF FILTRATION OF «BELARUSKIJ AVTOMOBILNYJ ZAVOD»

O. V. LUKASHEV<sup>a</sup>

<sup>a</sup>Belarusian State University, Nezavisimosti avenue, 4, 220030, Minsk, Republic of Belarus

It is shown that in the condition of considerable surface contamination of moraine deposits with metal-containing sludge, which includes elements of very low (Cr), low (Pb) and middle (Ni, Cu) geochemical mobility, repeated control measurements of the metals content at the depth of up to 50 cm from the partition of sludge/soil is expediently carried out with a periodicity of one time in 8–10 years: the former filtration fields of «Belaruskij avtomobilnyj zavod» areas case study. Cardinal improvement of the geochemical and ecological status of the territory was achieved by removing the contaminated layer and underlying 7–24 cm ground, and as a result studied land became suitable for the housing construction use (except individual).

**Key words:** soil; chemical elements; geochemical migration.

Техногенные объекты середины XX в. типа полей фильтрации и отстойников, выведенные из использования и в ряде случаев давно заброшенные, представляют значительный интерес для геохимического изучения. Высокое содержание металлов в поверхностных горизонтах слагающих их почвогрунтов позволяет, в частности, проводить оценку современных скоростей нисходящей миграции химических элементов за доступный одному исследователю период, например за 8–10 лет. Автором

---

### Образец цитирования:

Лукашёв О. В. Эколого-геохимическое изучение бывших полей фильтрации РУПП «Белорусский автомобильный завод» // Вестн. БГУ. Сер. 2, Химия. Биология. География. 2016. № 2. С. 102–110.

### For citation:

Lukashev O. V. The ecological geochemical investigation of the former fields of filtration of «Belaruskij avtomobilnyj zavod». *Vestnik BGU. Ser. 2, Khimiya. Biol. Geogr.* 2016. No. 2. P. 102–110 (in Russ.).

---

### Автор:

**Олег Валентинович Лукашёв** – кандидат геолого-минералогических наук; доцент кафедры инженерной геологии и геофизики географического факультета.

### Author:

**Oleg Lukashev**, PhD (geological-mineralogical science); associate professor at the department of engineering geology and geophysics, faculty of geography. 240660@mail.ru

настоящей работы в течение 15 лет проводилось геохимическое изучение бывших полей фильтрации очистных сооружений РУПП «Белорусский автомобильный завод», располагавшихся в микрорайоне № 5 г. Жодино. Цель работы – решение практической проблемы очистки территории от загрязнения и выявление закономерностей миграции ряда химических элементов-металлов, знание которых необходимо при рекультивации аналогичных объектов.

### Объект изучения

Поля фильтрации очистных сооружений РУПП «Белорусский автомобильный завод» до их рекультивации в 2004 г. представляли собой совокупность искусственных земляных сооружений приблизительно прямоугольной формы, не использовавшихся по целевому назначению несколько десятков лет. Визуально на территории данного объекта выделялись три типа поверхностей, разделенных насыпными бортами высотой до 3 м: 1) промышленный загрязнитель (шлам); 2) мелковолнистая поверхность без выраженного слоя промышленного загрязнителя с неорганизованным складированием бытового мусора и т. д.; 3) вторичные траво- и древесостой.

Поверхность первого типа была приурочена главным образом к отстойникам, примыкавшим к демонтированному распределительному резервуару в северо-западной части полей (рис. 1, отстойники 1, 3, 8–10, 14, 16, 17 и др.); поверхности второго и третьего типов в большинстве случаев комбинировались, вторичный древесостой был наиболее развит в отстойниках, максимально удаленных от распределительного резервуара.

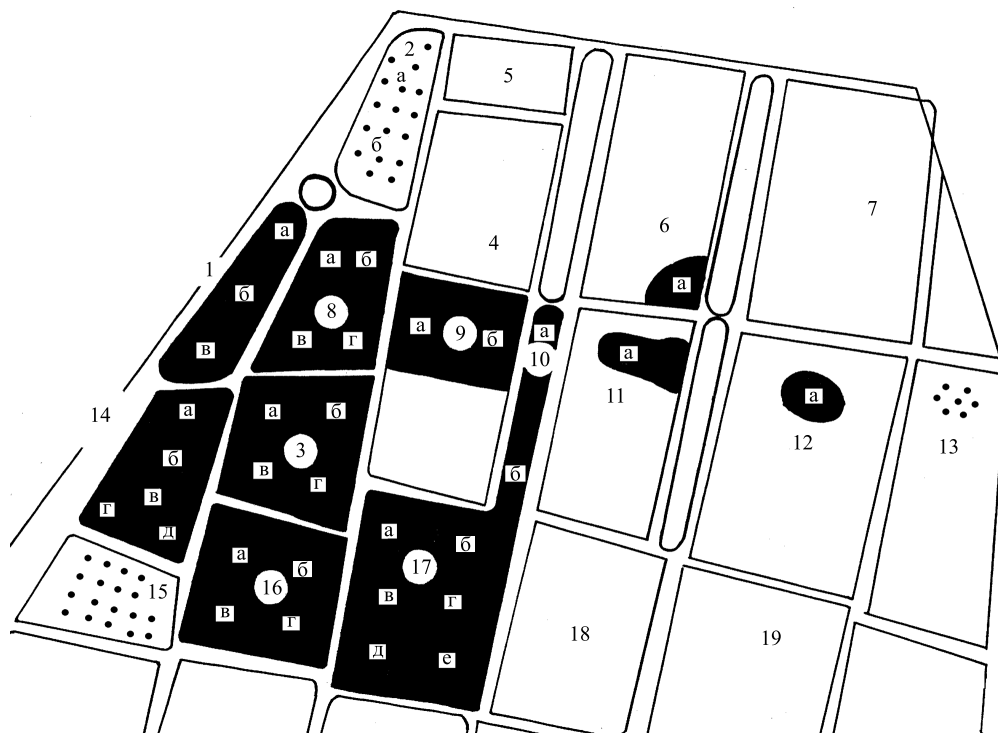


Рис. 1. Опробование бывших полей фильтрации РУПП «Белорусский автомобильный завод» в 1991, 1999, 2004 гг.: 1–19 – отстойники; ■ – сплошное покрытие шламом; ● – пятна шлама; а–е – контрольные точки опробования 2004 г.

Основу почвогрунтов очистных сооружений составляют разнозернистые кварцево-полевошпатовые пески, подстилаемые моренными суглинками.

### Изученность объекта

В связи с заинтересованностью ряда хозяйственных и контролирующих организаций в приведении данной территории в порядок с последующей капитальной застройкой (промышленное, жилищное строительство) бывшие поля фильтрации очистных сооружений РУПП «Белорусский автомобильный завод» исследовались рабочей группой под руководством автора настоящей статьи пять раз.

- Осенью 1989 г. по инициативе Жодинской ГорСЭС было проведено рекогносцировочное изучение распределения металлов в поверхностном почвенном горизонте днищ и бортов 17 основных отстойников, показавшее высокий уровень их загрязнения Cr, Ni, Cu, Zn и Pb.

- Летом 1990 г. по инициативе Белорусской политехнической академии (БПА) и Жодинского швейнотрикотажного производственного объединения исследовалось распределение водорастворимых форм основных анионов ( $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{HCO}_3^-$ ) и pH среды в подстилающих породах на глубине 2 м в 42 контрольных точках. Установлено, что концентрация  $\text{Cl}^-$  (4–115 мг/кг),  $\text{NO}_3^-$  (2–217),  $\text{SO}_4^{2-}$  (8–2720),  $\text{HCO}_3^-$  (2–232 мг/кг) в моренных суглинках не коррелировала с уровнем их загрязнения металлами. На основе полученных данных в БПА подбирался устойчивый к коррозии состав железобетона для планировавшегося строительства фабрики, которое в дальнейшем не состоялось.

- Летом – осенью 1991 г. по инициативе РУПП «Белорусский автомобильный завод» изучалось распределение Cr, Ni, Cu, Zn, Pb в вертикальном разрезе почвогрунтов днищ котловин всех 32 сохранившихся на тот момент отстойников до глубины 2 м с целью определения дальнейшей стратегии рекультивации территории, которая по экономическим обстоятельствам (распад СССР) тогда также не состоялась.

- В апреле 1999 г. проводилось контрольное дополнительное исследование наиболее загрязненных отстойников (1–3, 6, 8–17) на глубинах до 50 см с целью выявления предполагаемых изменений распределения Cr, Ni, Cu, Zn, Pb по вертикальному разрезу почвогрунтов днищ за прошедшие 8 лет.

- Наконец, в 2003 г. в рамках Года наведения порядка на земле произошла очередная активизация интереса к данной территории и в июле 2004 г. было проведено последнее контрольное определение содержания Cr, Ni, Cu, Zn, Pb в почвогрунтах бывших полей фильтрации после проведения рекультивационных работ.

### Аналитические работы

Отбор и подготовка проб производились в соответствии со стандартными требованиями, предъявляемыми к выполнению геохимических работ [1]. Определение содержания химических элементов было выполнено в 1989, 1991, 1999, 2004 гг. в лаборатории физико-химических методов Института геологических наук НАН Беларуси методом эмиссионного спектрального анализа (ЭСА) на одном оборудовании (спектрограф PGS-2).

**Характеристика состояния полей фильтрации в 1991 г.** Исследования 1991 г. показали, что основным носителем элементов-загрязнителей на территории отстойников являлся промышленный шлам, содержащий значительные количества Cr, Ni, Cu, Zn и Pb (табл. 1). Мощность осадка варьировала от 0 до 25 см (преобладали величины до 10 см). Общий объем загрязняющего вещества составлял около 2000 м<sup>3</sup>, средняя зольность шлама – 75 %.

Таблица 1

Содержание Cr, Ni, Cu, Zn и Pb в шламе и подстилающем его слое грунта мощностью 10 см (в сухом веществе), 1991 г.

Элемент	Шлам (n = 16), мг/кг	Подстилающий грунт (n = 12), мг/кг	Отношение шлам/грунт, раз
Cr	17 200 (240–78 800)*	59 (22–400)	240 (33–810)
Ni	210 (100–730)	15 (7–54)	13 (6,9–40)
Cu	1140 (670–3940)	10 (3–45)	120 (21–420)
Zn	2090 (630–21 200)	–**	–
Pb	260 (83–1140)	11 (9–16)	19 (8,9–43)

\*Средняя геометрическая величина (пределы колебания). \*\*Содержание Zn в почвогрунтах ниже чувствительности метода ЭСА (100 мг/кг).

Отстойники, не имевшие на своей поверхности явно выраженного слоя загрязнителя (поверхность второго типа), характеризовались существенно более низкими величинами содержания изучаемых элементов в поверхностном горизонте почв (n = 10, мг/кг): Cr – 270 (60–660); Ni – 20 (11–93); Cu – 27 (5–210); Pb – 14 (9–32); Zn – ниже чувствительности метода ЭСА.

Местный геохимический фон в районе отстойников составляет: для Cu – 8 мг/кг, Pb и Ni – 13, Cr – 18 мг/кг. Zn в фоновых точках не обнаружен (содержание меньше 100 мг/кг). Согласно распоряжению Министерства здравоохранения СССР (от 21.02.1979 г. № 1968-79), действовавшему на момент проведения исследований в 1991 г., ПДК Pb в почвах рассчитывались по следующей формуле: ПДК = местный фон + 20 мг/кг [2]. Были рекомендованы также ПДК для Cu (фон + 35 мг/кг), Ni (фон + 45 мг/кг) и Zn (фон + 50 мг/кг) [3]. Для изученной территории ПДК составляли: Pb – 33 мг/кг, Cu – 43, Ni – 58, Zn (ориентировочно, в качестве временного рабочего показателя) – 100 мг/кг (половина величины чувствительности, определенная методом ЭСА, +50 мг/кг). В качестве ПДК (также ориентировочно) для Cr

нами была принята величина 90 мг/кг (местный фон, умноженный на 5). Данные показатели частично совпадают (Cr, Pb) с действующими в настоящее время ПДК/ОДК химических элементов в почвах [4].

Среднее содержание Ni в шламе превышало соответствующую ПДК примерно в 4 раза, Pb – в 8, Zn – в 21, Cu – в 27, Cr – в 190 раз. По этой причине территория 14 отстойников до устранения из ее пределов промышленного шлама не могла быть использована, в частности, для планировавшегося жилищного строительства.

В целях кардинального улучшения эколого-геохимического состояния данной территории было рекомендовано снять слой загрязнителя и подстилающие его 7–24 см грунта – всего около 2000 м<sup>3</sup> (см. табл. 1 и 2), после чего исследованный участок становится пригодным для использования под жилищное строительство (кроме индивидуального).

Таблица 2

Мощность поверхностного слоя, требующего снятия

Отстойник	Мощность шлама, см	Зольность шлама, %	Снимаемый слой, см
1	8	67,3	15*
2	4	85,6	15
3	7	57,0	15
6	6	89,9	15
8	25	88,9	35
9	6	78,8	20
10	1	54,8	25
11	15	72,7	25
12	6	69,2	15
13	11	71,5	15
14	10	73,0	15
15	5	66,7	15
16	6	85,6	15
17	1	83,3	15

\*Снимаемый слой дополнительно включал 5 см нижележащего незагрязненного грунта.

**Характеристика состояния полей фильтрации в 1999 г.** За прошедшие с 1991 г. 8 лет внешний облик отстойников в целом изменился незначительно: в северо-восточной части участка была проложена временная дорога; в бортах отстойников прорыты проходы; отдельные отстойники (например, 1) использовались для свалки мусора; повсеместно отмечалось увеличение зарастания естественной растительностью, маскирующей расположение пятен загрязнителя, и т. д. Шурфы, заложенные в днищах отстойников 1–3, 6, 8–17, не выявили каких-либо существенных изменений в вертикальном разрезе почвогрунтов (отсутствие затеков, новообразований и т. д.) по сравнению с 1991 г.

Для контроля предполагаемых изменений распределения химических элементов по вертикальному разрезу, исходя из установленных в 1991 г. закономерностей, в наиболее загрязненных отстойниках 1–3, 6, 8–17 производился отбор грунта на глубинах 0–10 и 35–50 см. Пробы с глубины 0–10 см отбиралась для того, чтобы исключить возможность случайного опробования незагрязненных шламом участков в отстойниках с фрагментарным залеганием поверхностного загрязнителя.

В большинстве отстойников шурфы 1999 г. располагались не далее  $\pm 2$ –3 м от шурфов 1991 г. (за исключением отстойников 6 и 11, в которых специально опробовались ранее не изучавшиеся пятна шлама). Следует также отметить, что в отстойниках 2 и 15 в 1999 г. нам не удалось опробовать непосредственно пятна загрязнителя из-за их слабой выраженности и маскировки растительностью. Все это нашло отражение в полученных данных о содержании химических элементов в горизонте 0–10 см. Результаты исследований 1991 и 1999 гг. представлены в табл. 3. Необходимо подчеркнуть, что показатели соответствующих столбцов не следует сравнивать, так как в 1991 г. нами проводилось детальное послойное изучение распределения загрязнителей в поверхностном горизонте, тогда как в 1999 г. бралась общая интегральная проба, отражающая среднее содержание загрязнителей в слое 0–10 см без выделения подслоев и представляющая собой смесь шлама и подстилающего его грунта. В общем данные табл. 3 свидетельствуют о том, что практически во всех отстойниках новые шурфы закладывались в действительно загрязненных в поверхностном слое местах.

**Содержание Cr, Ni, Cu, Zn и Pb в шламе и почвогрунтах бывших полей фильтрации  
РУПП «Белорусский автомобильный завод» на глубине 0–10 см, мг/кг сухого вещества**

Шурф	Cr		Ni		Cu		Zn		Pb	
	1991	1999	1991	1999	1991	1999	1991	1999	1991	1999
1	1,35 %	1,25 %	140	50	1350	1000	1350	830	240	270
2	2540/76	200	130/16	20	850/12	36	760/–	–	140/10	16
3	1,40 %/45	4,94 %	370/54	190	3940/12	1850	2050/–	1550	250/15	240
6	540/34	3,5 %	18/16	140	76/16	1350	–/–	1080	21/13	210
8	2440	8100	110	110	710	1220	1160	2430	120	180
9	7,88 %/200	2,89 %	390/10	580	2760/15	1160	6300/–	2070	470/11	170
10	5,48 %/400	5,2 %	410/15	210	1100/35	980	3840/–	980	550/16	220
11	750/250	2830	50/15	80	190/20	280	230/–	570	20/12	150
12	1,90 %/40	2,12 %	240/28	180	900/11	1060	2770/230	710	210/11	240
13	1,19 %	1,05 %	85	70	850	610	600	530	300	280
14	3,00 %/37	1,53 %	110/7	50	800/10	770	630/–	150	230/10	250
15	2,50 %/50	150	120/17	15	930/45	25	1000/–	–	130/15	20
16	3,27 %/50	3,53 %	330/11	210	720/6	990	2490/–	1410	300/9	210
17	2,71 %/70	1,22 %	100/11	80	670/5	410	750/–	410	80/9	24
ПДК	[90]		58		43		[100]		33	

Примечание. По данным опробования 1991 г., в отстойниках 2, 3, 6, 9, 10–12, 14, 15–17 в слое 0–10 см от поверхности наблюдалось резкое снижение концентраций элементов на глубинах от 1 до 6 см. Например, в отстойнике 2 содержание Cr в слое 0–4 см составляло 2540 мг/кг, тогда как в слое 4–14 см – 76 мг/кг и т. д. Во время опробования 1999 г. слой 0–10 см брался целиком без расчленения на подслои.

Данные по содержанию основных загрязнителей в почвогрунтах отстойников 1–3, 6, 8–17 на глубине 35–50 см приведены в табл. 4. При рассмотрении табл. 4 следует учитывать, что отдельные цифры в соответствующих столбцах не должны совпадать, так как полученные величины содержания химических элементов в рассматриваемом случае зависят как минимум от трех факторов: 1) исходной пространственной неоднородности толщи грунта (разные шурфы); 2) погрешностей аналитического метода (приблизительно  $\pm 5$ –10 %); 3) возможного попадания загрязнителей из вышележащего слоя за прошедшие между опробованиями 8 лет. Действие факторов 1) и 2) нивелируется при переходе от отдельных цифр к средним показателям.

Таблица 4

**Содержание Cr, Ni, Cu, Zn и Pb в почвогрунтах бывших полей фильтрации  
РУПП «Белорусский автомобильный завод» на глубине 35–50 см, мг/кг сухого вещества**

Шурф	Cr		Ni		Cu		Zn		Pb	
	1991	1999	1991	1999	1991	1999	1991	1999	1991	1999
1	10	30	6	16	3	8	–	–	9	13
2	10	35	6	30	4	20	–	–	10	20
3	50	18	21	15	14	11	–	–	20	10
6	40	20	22	15	15	16	–	–	12	9
8	50	100	11	23	4	12	–	–	9	10
9	25	12	7	22	4	3	–	–	10	5
10	26	30	12	13	3	8	–	–	10	10
11	11	30	11	50	7	7	–	–	10	20
12	37	20	22	22	10	6	–	–	13	15

Шурф	Cr		Ni		Cu		Zn		Pb	
	1991	1999	1991	1999	1991	1999	1991	1999	1991	1999
13	36	15	10	18	10	7	–	–	13	10
14	20	20	16	35	13	25	–	–	10	18
15	7	15	6	20	2	14	–	–	9	13
16	65	20	14	25	3	20	–	–	10	16
17	11	20	14	24	3	11	–	–	9	13
Среднее значение	28	28	13	23	7	12	–	–	11	13
ПДК	[90]		58		43		[100]		33	

Сопоставление *средних величин* содержания химических элементов в почвогрунтах отстойников на глубине 35–50 см свидетельствует о том, что с 1991 по 1999 г. данный показатель для Cr, Pb и Zn (ниже предела чувствительности определения) статистически достоверно не изменился, тогда как для Cu и Ni вследствие их продолжающегося привноса из залегающего на поверхности шлама увеличился в 1,7 и 1,8 раза соответственно. Установленное повышение средних величин содержания Cu и Ni имело только научное значение, так как среднее содержание этих элементов в слое 35–50 см (так же как Cr и Pb) на момент исследования (апрель 1999 г.) составляло только 0,3–0,4 ПДК.

Наблюдавшееся различие в геохимическом поведении исследуемых элементов в 1991–1999 гг. хорошо согласуется с общей схемой их *относительной подвижности* в гипергенных условиях [5]: в *окислительных* и *кислых – нейтральных* геохимических обстановках, характерных для изученных полей фильтрации, Cr и Pb обладают, соответственно, *очень низкой* и *низкой*, тогда как Ni и Cu – *средней* относительной подвижностью.

Таким образом, контрольное исследование почвогрунтов днищ бывших полей фильтрации РУПП «Белорусский автомобильный завод» показало, что за прошедшие 8 лет в распределении загрязнителей по вертикальному разрезу не произошло каких-либо кардинальных изменений и, следовательно, все основные выводы и констатации, сделанные на основании изучения 1991 г., в целом остались в силе.

По данным исследований 1999 г. были повторно сделаны следующие рекомендации: а) снять слой загрязнителя в отстойниках 1–3, 6, 8–17 (из них в 6, 9, 11–13 – частично; см. рис. 1) в соответствии с данными табл. 2; б) место складирования снятого загрязненного грунта определить проектом, предусматривающим защиту от выноса загрязняющих компонентов; в) провести оценку качества выполнения рекультивационных работ.

**Характеристика состояния полей фильтрации в 2004 г.** Основной задачей исследований, проведенных на территории бывших полей фильтрации летом 2004 г., являлся геохимический контроль качества рекультивационных работ (снятие шлама и слоя загрязненного грунта), выполненных на данном объекте в 2003–2004 гг. Результаты анализа почвогрунтов (верхние 0–10 см) представлены в табл. 5.

Таблица 5

**Содержание Cr, Ni, Cu, Zn и Pb в почвогрунтах (0–10 см) бывших полей фильтрации РУПП «Белорусский автомобильный завод» после проведения рекультивационных работ в 2004 г., мг/кг сухого вещества**

Проба	Cr	Ni	Cu	Zn	Pb
1а	260	17	25	200	20
1б	160	16	22	<200	22
1в	140	10	18	<200	12
2а	50	12	7	<200	19
2б	150	25	48	300	30
3а	180	20	28	<200	16

Проба	Cr	Ni	Cu	Zn	Pb
3б	150	27	26	200	20
3в	20	18	3	<200	13
3г	200	23	34	300	20
6а	85	25	20	400	18
8а	30	16	15	<200	13
8б	35	12	8	<200	10
8в	140	20	17	<200	20
8г	30	11	9	300	12
9а	150	10	15	200	14
9б	160	12	26	<200	15
10а	300	28	30	<200	25
10б	40	19	46	200	13
11а	250	25	50	300	40
12а	120	16	20	<200	20
14а	400	11	25	<200	12
14б	35	10	13	<200	8
14в	100	19	25	200	18
14г	25	15	8	<200	11
14д	180	18	22	<200	35
16а	70	11	15	<200	18
16б	60	25	11	200	15
16в	140	13	14	200	12
16г	80	11	7	<200	13
17а	15	15	5	<200	7
17б	20	24	6	<200	12
17в	300	23	30	200	38
17г	70	12	8	200	12
17д	120	13	9	<200	16
17е	130	30	10	<200	10

Рассмотрение полученных данных показывает, что рекультивационные работы на бывших полях фильтрации с геохимической точки зрения выполнены на достаточно высоком уровне. Так, после снятия шлама и слоя загрязненного грунта в указанных отстойниках содержание Ni в почвогрунтах не превышает ПДК во всех, а Cu и Pb – в подавляющем числе случаев, исключение составляют пробы 2б, 10б, 11, 14д, 17в (см. рис. 1), в которых выявлено содержание этих элементов, незначительно превышающие соответствующие ПДК.

Относительно установленных повышенных концентраций Cr (до 300–400 мг/кг) необходимо отметить следующее. Содержащийся в опробованных почвогрунтах Cr<sup>3+</sup> (в отличие от Cr<sup>6+</sup>) геохимически малоподвижен, прочно связан в кристаллических решетках минералов и, несмотря на относительно высокие концентрации, менее опасен, чем Ni, Cu и Pb. В естественных условиях среднее содержание Cr в различных типах почв территории бывшего СССР варьирует от 180 до 470 мг/кг (подзолистые, серые лесные, черноземы, каштановые, сероземы) [6]. В техногенных условиях содержание этого элемента в отдельных почвенных пробах может быть на порядок выше (например, в г. Минске выявлено максимальное содержание Cr – 1200 мг/кг [7]).

Содержание Zn в размере 200–300 мг/кг в почвах территории, подвергшейся техногенному воздействию, несмотря на его *высокую* относительную подвижность, также не следует считать значительным. Так, среднее содержание данного элемента в почвах г. Минска составляет 325 мг/кг при максимальном отмеченном 3000 мг/кг [7].

Таким образом, на основании результатов исследований можно утверждать, что указанное содержание Cr и Zn в почвогрунтах бывших полей фильтрации РУПП «Белорусский автомобильный завод» непосредственной опасности для населения не представляет и дополнительное снятие грунта на изученном объекте не требуется. Эколого-геохимическая ситуация на данной территории, по видимому, еще более улучшилась при заравнивании оставшихся выемок за счет грунта бортов отстойников.

### Результаты исследований и их обсуждение

Проведенные исследования показали, что в условиях значительного поверхностного загрязнения моренных отложений металлосодержащими шламами, включающими в себя элементы *очень низкой* (Cr), *низкой* (Pb) и *средней* (Ni, Cu) геохимической подвижности, повторные контрольные замеры содержания в них металлов на глубинах до 50 см от раздела шлам/грунт целесообразно проводить с периодичностью 1 раз в 8–10 лет.

На территории бывших полей фильтрации РУПП «Белорусский автомобильный завод» произведены снятие и перемещение в специально подготовленное хранилище всего шлама и большей части загрязненного грунта, складированного слоем значительной мощности (более 1 м) в основном поверх шлама. Проектные размеры хранилища – 50 × 105 м, глубина – не менее 2,7 м, стенки собраны из бетонных блоков толщиной 40 см. Указанная уплотненная шламово-земляная масса располагается на песчано-щебенистом основании, пропитанном битумом, и перекрыта сверху слоем относительно чистого грунта, взятого с бортов отстойников. Далее было произведено закрытие хранилища: песком; щебнем, пропитанным битумом; 2 слоями асфальтобетона разной плотности и т. д. В настоящее время на месте закрытого хранилища оборудована автостоянка (рис. 2, прямоугольная площадка сверху).



Рис. 2. Современное состояние территории бывших полей фильтрации РУПП «Белорусский автомобильный завод» (снимок GoogleEarth, 2015 г.)



Рекультивационные работы на бывших полях фильтрации с эколого-геохимической точки зрения выполнены на достаточно высоком уровне, в полном соответствии с рекомендациями, дополнительное снятие грунта не требуется. Исследованный участок пригоден для использования под жилищное строительство (кроме индивидуального).

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК (*REFERENCES*)

1. Инструкция по геохимическим методам поисков рудных месторождений : утв. М-вом геологии СССР 22.06.1982 г. / сост.: С. В. Григорян [и др.]. М., 1983.
2. Импактное загрязнение почв металлами и фторидами / под ред. Н. Г. Зырина [и др.]. Л., 1986.
3. *Водяницкий Ю. Н.* Об опасных тяжелых металлах/металлоидах в почвах // Бюл. Почвенного ин-та им. В. В. Докучаева. 2011. Вып. 68. С. 56–82 [*Vodyanitskii Y. N.* About dangerous heavy metals/metalloids in soils. *Byulleten' Pochvennogo inst. im. V. V. Dokuchaeva.* 2011. Vol. 68. P. 56–82 (in Russ.)].
4. Перечень предельно допустимых концентраций (ПДК) и ориентировочно допустимых концентраций (ОДК) химических веществ в почве. Гигиенические нормативы 2.1.7.12-1-2004. Минск, 2004.
5. *Левинсон А.* Введение в поисковую геохимию. М., 1976.
6. *Сает Ю. Е., Ревич Б. А., Янин Е. П., Смирнова Р. С., Башаркевич И. Л., Онищенко Т. Л., Павлова Л. Н., Трефилова Н. Я., Ачкасов А. И., Саркисян С. Ш.* Геохимия окружающей среды. М., 1990.
7. *Лукашёв В. К., Окунь Л. В.* Загрязнение тяжелыми металлами окружающей среды г. Минска. Минск, 1996.

*Статья поступила в редколлегию 01.03.2016.  
Received by editorial board 01.03.2016.*