

**Л.Н. Карлин, А.А. Лебедева, Г.Т. Фрумин**

## **ОЦЕНКА ЗАГРЯЗНЕНИЯ ВОД РЕКИ ПЛЮССА ОТ ОТХОДОВ В СЛАНЦЕВСКОМ РАЙОНЕ ЛЕНИНГРАДСКОЙ ОБЛАСТИ**

**L. Karlin, A. Lebedeva, G. Frumin**

## **RISK ASSESSMENT OF WASTES POLLUTION OF RIVER PLYUSSA IN SLANTSEVSKY DISTRICT IN LENINGRADSKAYA REGION**

*Рассмотрены особенности практического определения риска от скоплений твердых коммунальных отходов, образующихся и размещаемых на территории Сланцевского района Ленинградской области, для вод р. Плюсса. Уровень риска от отходов пропорционален количеству отходов и зависит от географических условий региона. Предложен вариант оценки риска загрязнения вод р. Плюсса от твердых коммунальных отходов с учетом гидрометеорологических особенностей района. Определен риск загрязнения вод р. Плюсса от отходов.*

*Ключевые слова: экологический риск, экологическая безопасность, твердые коммунальные отходы, поверхностные воды.*

*Peculiarities of assessing risk from wastes generated and landfilled in Slantsevsky district in Leningradskaya region are considered. The environmental risk level from wastes in territory of the North-West of Russia depends on the amount of wastes, geographical conditions of the region. The method of environmental risk assessment of wastes pollution of river Plyussa has been suggested. Risk of pollution of river Plyussa from wastes has been determined.*

*Key words: environmental risk, environmental safety, municipal solid waste, surface-water.*

### **Введение**

Обращение с отходами в России и в том числе учет их образования, сбор, использование, обезвреживание и захоронение твёрдых коммунальных отходов (ТКО) становится в последние десятилетия большой социальной проблемой, которая имеет не только важнейшей санитарно-гигиенический аспект, но и представляет интерес с позиций ресурсосбережения. Очевидно, что опасность загрязнения окружающей среды отходами исходит от скоплений отходов (свалок и полигонов). Несоблюдение требований к размещению и содержанию полигонов и иных хранилищ отходов в первую очередь ставит под угрозу загрязнения источники питьевого водоснабжения и почвы.

Выбор показателей для расчета риска определяется целью и задачами исследований. Основными газами, выделяющимися от скоплений отходов, являются метан ( $\text{CH}_4$ ), углекислый газ ( $\text{CO}_2$ ), азот ( $\text{N}_2$ ), оксиды азота ( $\text{NO}$ ,  $\text{NO}_2$ ), водород ( $\text{H}_2$ ), сероводород ( $\text{H}_2\text{S}$ ), аммиак ( $\text{NH}_3$ ), этилбензол ( $\text{C}_8\text{H}_{10}$ ), бензол ( $\text{C}_6\text{H}_6$ ), формальдегид ( $\text{CH}_2\text{O}$ ). Основными металлами, выделяющимися в окружающую среду с фильтратами от скоплений отходов, являются свинец ( $\text{Pb}$ ), хром ( $\text{Cr}$ ), кадмий ( $\text{Cd}$ ), медь ( $\text{Cu}$ ),

цинк ( $Zn$ ), никель ( $Ni$ ). Также в составе фильтратов измеряют показатели содержание ртути ( $Hg$ ), показатель уровня кислотности ( $pH$ ), электропроводимость, биологическое потребление кислорода (БПК<sub>5</sub>), химическое потребление кислорода (ХПК), общий азот ( $N_{\text{общ}}$ ), общий фосфор ( $P$ ), углерод органический ( $C_{\text{орг}}$ ), углерод неорганический ( $C_{\text{неорг}}$ ), взвешенные вещества и др. [1–4].

### *Характеристика р. Плюсса*

Главная водная артерия Сланцевского района – р. Плюсса, впадающая в Нарвское водохранилище. Это вторая по длине река Ленинградской области, судоходная на 30 % своей протяженности. Среднегодовой расход р. Плюсса 46,4 м<sup>3</sup>/с, минимальные наблюдавшиеся расходы с 1955 г. в летний период – 6,90 м<sup>3</sup>/с (1972), в зимний период – 7,79 м<sup>3</sup>/с (1976) [5]. Река Плюсса имеет 25 притоков, среди которых по территории города Сланцы протекают притоки р. Плюсса – р. Кушелка (Кушолка) и относительно новый приток р. Сиженка.

По данным Правительства Ленинградской области по сравнению с предыдущими годами ухудшения качества вод исследуемых водных объектов не выявлено. Воды р. Плюсса у г. Сланцы (створ 1) в 2010 г. соответствовали очень загрязненному, 3 класс качества, разряд «б» (УКИЗВ 3.20), в 2011–2013 гг. – загрязненным, 3 класс качества, разряд «а» (УКИЗВ 2.29, 2.27, 2.68). Воды р. Плюсса у г. Сланцы (створ 2) 2010–2011 гг. воды соответствовали загрязненному, 3 класс качества, разряд «а» (УКИЗВ 2.98, 2.02, 2.28, 2.22). Наблюдались превышения ПДК по меди и железу, дважды по марганцу. По официальным данным выпуски ОАО «Завод Сланцы» не влияют на фоновые концентрации веществ в водах р. Плюсса.

### *Разработка подхода оценки риска загрязнения вод р. Плюсса от скоплений отходов*

Согласно Федеральному закону № 7 «Об охране окружающей среды» под **экологическим риском** понимают вероятность наступления события, имеющего неблагоприятные последствия для природной среды и вызванного негативным воздействием хозяйственной и иной деятельности, чрезвычайными ситуациями природного и техногенного характера. Особое внимание необходимо уделять **климатическим рискам** региона, под которыми следует понимать вероятность загрязнения природных сред под влиянием гидрометеорологических условий региона.

Разработана схема оценки рисков загрязнения вод р. Плюсса от скоплений твердых коммунальных отходов. Для оценки экологических рисков загрязнения окружающей среды от отходов можно использовать максимальное значение риска, полученное по какому-либо из показателей:

$$R = R_{i_{\max}}, \quad (1)$$

где  $R$  – экологический риск от объектов обращения с отходами (от 0 до 1);  $i$  – символ загрязняющего вещества;  $R_{i_{\max}}$  – максимальное значение риска, полученное по какому-либо из исследуемых показателей.

Величина экологического риска должна находиться в пределах от 0 до 1. Исключительно высоким уровнем риска загрязнения окружающей среды природно-техногенными объектами большинство исследователей предлагает принимать значение выше  $10^{-2}$ , высоким уровнем риска считается в диапазоне от  $10^{-5}$  до  $10^{-3}$ , приемлемым уровнем — менее  $10^{-6}$  в год [В.И. Биненко, В.К. Донченко, В.В. Растоскуев, 2010], [6].

Концентрация загрязняющих веществ в поверхностных и грунтовых водах во многом зависит от расхода воды и количества осадков. *Экологический риск для поверхностных вод от скопления отходов* предлагается определять в зависимости от обеспеченности расхода водного объекта, при котором концентрация загрязняющих веществ достигнет и превысит ПДК для рыбохозяйственных водоемов:

$$R_i = 1 - P_{\text{ПДК}_i}, \quad (2)$$

где  $P_{\text{ПДК}_i}$  — обеспеченность стока, при котором выявится превышение ПДК  $i$ -го загрязняющего вещества в водном объекте (от 0 до 1);  $\text{ПДК}_{i\text{р}}$  — предельно допустимая концентрация  $i$ -го загрязняющего вещества, мг/дм<sup>3</sup>.

Точность расчетов по формуле (2) зависит от точности расчетов обеспеченности ( $P_{\text{ПДК}_i}$ ).

Определять эмпирическую обеспеченность расхода следует в соответствии со СП 33-101-2003 «Определение основных расчетных гидрологических характеристик» (2004) [7], то есть по методу Крицкого–Менкеля. Для оценки рисков загрязнения водотоков от отходов формула (2) преобразована в формулу (3).

$$R_i = 1 - \frac{n_{\text{ПДК}_{i\text{р}}}}{(N + 1)}, \quad (3)$$

где  $N$  — количество измерений (длина ряда измерения расхода реки);  $n_{\text{ПДК}_{i\text{р}}}$  — порядковый номер максимального значения расхода реки (в ряду по убыванию), при котором наблюдалось превышением  $\text{ПДК}_{i\text{р}}$ .

Применение формулы (3) требует проведения регулярного мониторинга поверхностных вод при отсутствии данных, следует прибегать к методам моделирования.

С целью определения количества проявлений превышения ПДК для рыбохозяйственных водоемов для загрязняющих веществ выделяющихся с фильтратом от скопления отходов, образующихся в Сланцевском районе произведена оценка основных числовых характеристик стока р. Плюсса коэффициенты вариации, асимметрии и математическое ожидание, по расходам, наблюдавшимся в период с 1932 по 1976 г. (табл. 1), рассчитаны ординаты кривой Крицкого–Менкеля.

Чтобы определить вероятность загрязнения была построена эмпирическая кривая обеспеченности расхода р. Плюсса, затем аппроксимирована кривой Крицкого–Менкеля (рис. 1).

Рассчитаны значения расходов р. Плюсса и модульных коэффициентов  $k$  (при обеспеченности 50 %) при соотношении коэффициентов асимметрии и вариации

равном 0,5, поскольку аналитическая кривая хорошо согласуется с эмпирической кривой обеспеченности, то в дальнейших расчетах используются ординаты аналитической кривой. В рамках диссертационного исследования рассчитаны таблицы значений  $k$  и  $Q$  при различных значениях обеспеченности, использовались выражения (4) и (5).

Таблица 1

**Оценка основных числовых характеристик стока р. Плюсса – г. Сланцы**

Название ряда	Оценки			
	Среднее значение, м <sup>3</sup> /с	$\sigma$	$C_v$	$C_s$
Среднегодовой расход (по годам) ( $Q$ ), м <sup>3</sup> /с	46,4	12,8	0,27	0,46

Примечание:  $C_v$  – коэффициент вариации,  $\sigma$  – среднеквадратическое отклонение,  $C_s$  – коэффициент асимметрии.

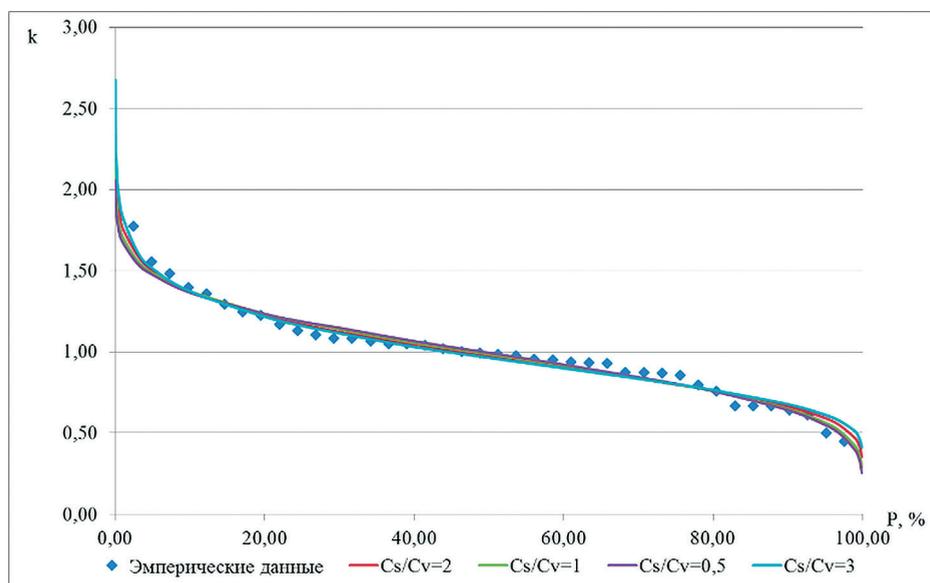


Рис. 1. Кривые распределения, построенные по методу С.Н. Крицкого и М.Ф. Менкеля

$$Q_{\text{ПДК}_i} = \frac{V_{\text{ПДК}_i}}{t} = \frac{M_i}{\text{ПДК}_i \cdot t}, \quad (4)$$

где  $V_i$  – объем воды, в котором концентрация  $i$ -го загрязняющего вещества достигнет ПДК, м<sup>3</sup>;  $M_i$  – масса  $i$ -го загрязняющего вещества, поступающего в водный объект за исследуемый период, г;  $t$  – время исследования, с.

$$k_{\text{ПДК}_{ip}} = \frac{Q_{\text{ПДК}_{ip}}}{Q_{50\%}} = \frac{M_{i(30 \text{ лет})}}{\text{ПДК}_{ip} \cdot t} \cdot \frac{1}{Q_{50\%}} = \frac{M_{i(30 \text{ лет})}}{\text{ПДК}_{ip} \cdot 3,15 \cdot 10^7} \cdot \frac{1}{46,1} = 6 \cdot 10^{-10} \cdot \frac{M_{i(30 \text{ лет})}}{\text{ПДК}_{ip}}, \quad (5)$$

где  $Q_{\text{ПДК}_i}$  — расход воды, при котором концентрация  $i$ -го загрязняющего вещества достигнет ПДК в водном объекте, м<sup>3</sup>/с;  $Q_{50\%}$  — расход воды, при обеспеченности 50 %, м<sup>3</sup>/с;  $M_{i(30 \text{ лет})}$  — масса  $i$ -го загрязняющего вещества, поступающего от отходов (не более чем за 30 лет), г;  $t$  — период исследования (1 год), с.

В качестве максимального срока, в течение которого захороненные отходы будут представлять опасность для окружающей среды в климатических условиях Северо-Запада России принимают 30 лет, исходя из предположения, подтвержденного экспериментально только по отношению к твёрдым коммунальным отходам. По истечении этого срока прекратится также выделение жидкого фильтрата, содержащего в растворенном и взвешенном состоянии многие токсичные вещества [П.М. Федоров, Е.Ю. Негуляева, Е.Р. Покровская, 2001, 2005; Ю.И. Скорик, Л.С. Венцолис, 2007], [1, 2, 4].

Таким образом, для определения риска загрязнения р. Плюсса от отходов  $i$ -м загрязняющим веществом, достаточно рассчитать  $Q_{\text{ПДК}_{ip}}$  (4) или  $k_{\text{ПДК}_{ip}}$  (5) и сопоставить с табличными значениями, рассчитанными в рамках исследования гидрологические характеристики р. Плюсса ( $P_{\text{ПДК}_{ip}}$ ,  $Q_{\text{ПДК}_i}$ ,  $k_{\text{ПДК}_{ip}}$ ,  $n_{\text{ПДК}_{ip}}$ ) для Сланцевского района (табл. 2) и произвести расчёты  $R_i$  по формулам (2) или (3).

Таблица 2

**Расчет необходимых гидрологических характеристик для определения экологического риска загрязнения вод р. Плюсса**

$P_{\text{ПДК}_{ip}}$ , %	0,01	0,1	0,3	0,5	1	3	5	10
$k_{\text{ПДК}_i}$	2,06	1,89	1,79	1,74	1,67	1,54	1,47	1,36
$Q_{\text{ПДК}_i}$ , м <sup>3</sup> /с	95,3	87,5	83,1	80,6	77,5	71,4	68,3	63,2
$n_{\text{ПДК}_i}$	1	2	3	4	5	6	7	8
$P_{\text{ПДК}_{ip}}$ , %	20	25	30	40	50	60	70	75
$k_{\text{ПДК}_i}$	1,23	1,19	1,15	1,07	0,994	0,921	0,844	0,804
$Q_{\text{ПДК}_i}$ , м <sup>3</sup> /с	57,2	55	53,2	49,4	46,1	42,7	39,1	37,3
$n_{\text{ПДК}_i}$	9	10	11	12	13	14	15	16
$P_{\text{ПДК}_{ip}}$ , %	80	90	95	97	99	99,5	99,7	99,9
$k_{\text{ПДК}_i}$	0,758	0,641	0,549	0,493	0,394	0,344	0,312	0,254
$Q_{\text{ПДК}_i}$ , м <sup>3</sup> /с	35,1	29,7	25,4	22,9	18,3	15,9	14,4	11,8
$n_{\text{ПДК}_i}$	17	18	19	20	21	22	23	24

**Оценка риска загрязнения вод р. Плюсса Сланцевского района**

Рассмотрим риски загрязнения вод р. Плюсса вблизи г. Сланцы от скоплений отходов тяжелыми металлами и иными загрязняющими веществами (*Pb, Cr, Cd, Cu, Zn, Ni*). Мониторинг качества поверхностных вод р. Плюсса ведется только для пяти упомянутых веществ, то есть для всех кроме хрома. Значения ПДК<sub>р</sub> этих элементов, установленные для пресноводных рыбохозяйственных водоемов [8]: *Pb* – 0,006 мг/дм<sup>3</sup>; *Cr* – 0,07 мг/дм<sup>3</sup>; *Cd* – 0,005 мг/дм<sup>3</sup>; *Cu* – 0,001 мг/дм<sup>3</sup>; *Zn* – 0,01 мг/дм<sup>3</sup>; *Ni* – 0,01 мг/дм<sup>3</sup>.

В Сланцевском районе ежегодной образуется и поступает на захоронение на полигоне порядка 14,5 тыс. т ТКО [9]. Местоположение полигона – территория золотвалов ОАО «Завод «Сланцы». Расстояние от г. Сланцы до этого полигона – 2,8 км, расстояние до р. Плюсса – 3,5 км. Полигон расположен вблизи р. Сиженка (порядка 1 км), которая через 4,5 км впадает в р. Плюсса.

Рассмотрена ситуация возникновения экстремальных погодных условий, при которых весь фильтрат из нового полигона (содержащий загрязняющие вещества, накопленные за 30 лет) будет растворен р. Сиженка, которая впадает в р. Плюсса через 4 км от полигона.

В табл. 3 представлены расчет загрязняющих веществ, рисков и среднегодового и среднесуточного расходов р. Плюсса, при которых концентрация рассматриваемых загрязняющих веществ достигнет уровня ПДК<sub>р</sub>.

Таблица 3

**Расчет рисков загрязнения р. Плюсса металлами от скоплений отходов в Сланцевском районе за 30 лет**

Кол-во ЗВ		Загрязнение через год				Загрязнение через сутки			
ЗВ	$M_p$ , г	$Q_{\text{пдкр}'}'$ , м <sup>3</sup> /с	$P_{\text{пдкр}'}'$ , %	$R(*)$ , раз в сто лет	$R(**)$	$Q_{\text{пдкр}'}'$ , м <sup>3</sup> /с	$P_{\text{пдкр}'}'$ , %	$R(*)$ , раз в сто лет	$R(**)$
<i>Pb</i>	1596	0,00084	менее 99,9	менее 10 <sup>-3</sup>	0	0,30791	менее 99,9	менее 10 <sup>-3</sup>	0
<i>Cr</i>	8542	0,00039	менее 99,9	менее 10 <sup>-3</sup>	0	0,14123	менее 99,9	менее 10 <sup>-3</sup>	0
<i>Cd</i>	147	0,00009	менее 99,9	менее 10 <sup>-3</sup>	0	0,03395	менее 99,9	менее 10 <sup>-3</sup>	0
<i>Cu</i>	3986	0,01264	менее 99,9	менее 10 <sup>-3</sup>	0	4,61358	менее 99,9	менее 10 <sup>-3</sup>	0
<i>Zn</i>	9965	0,00316	менее 99,9	менее 10 <sup>-3</sup>	0	1,15340	менее 99,9	менее 10 <sup>-3</sup>	0
<i>Ni</i>	2558	0,00081	менее 99,9	менее 10 <sup>-3</sup>	0	0,29609	менее 99,9	менее 10 <sup>-3</sup>	0
Среднее		0,00299	менее 99,9	менее 10 <sup>-3</sup>	0	1,09103	менее 99,9	менее 10 <sup>-3</sup>	0

Примечание:  $R(*)$  расчет производился по формуле (2),  $R(**)$  расчет производился по формуле (3).

Расчёт рисков загрязнения вод р. Плюсса веществами производился по разработанной схеме оценки рисков загрязнения поверхностных вод от скоплений твёрдых коммунальных отходов для близлежащих к полигону рек Сланцевского района. Расчеты производились по формулам (2)–(5):

- Рассчитаны средние показатели ежегодного накопления некоторых металлов в составе фильтратов из массы отходов, образующихся ежегодно в поселениях

Сланцевского района, считая на катионы элементов ( $Pb$  — 37 г/год,  $Cr$  — 199 г/год,  $Cd$  — 4 г/год,  $C$  — 93 г/год,  $Zn$  — 233 г/год,  $Ni$  — 59 г/год). Для расчетов использованы удельные показатели, полученные для полигонов ТКО Ленинградской области, Федорова П.М. (2001, 2005). А.И. Ларионов, А.В. Дикинис (2008) [3, 4].

- Расчет расходов р. Плюсса ( $Q_{\text{ПДК}_{iP}}$ ), при которых концентрация  $i$ -го загрязняющего вещества достигнет ПДК <sub>$iP$</sub> , произведен по формуле (4).
- Обеспеченность расхода р. Плюсса ( $P_{\text{ПДК}_{iP}}$ ), при которых концентрация  $i$ -го загрязняющего вещества достигнет ПДК <sub>$iP$</sub> , определена согласно СП 33-101-2003 «Определение основных расчетных гидрологических характеристик» (2004).
- В расчетах использовались гидрологические характеристики р. Плюсса ( $P_{\text{ПДК}_{iP}}$ ,  $Q_{\text{ПДК}_i}$ ,  $k_{\text{ПДК}_{iP}}$ ,  $n_{\text{ПДК}_{iP}}$ ), рассчитанные в рамках диссертации (см. табл. 2).

### Заключение

Полученные значения расходов р. Плюсса, при которых концентрации рассмотренных загрязняющих веществ достигнут ПДК рыбохозяйственных водоемов, в десятки тысяч раз меньше наблюдавшихся среднегодовых расходов и не менее чем в 2 раза ниже минимального наблюдавшегося среднесуточного расхода в летний период. Концентрации рассматриваемых загрязняющих веществ могут достичь ПДК <sub>$P$</sub>  только при расходах р. Плюсса обеспеченностью значительно более 99,9 %.

Значение рисков ( $R$ ), рассчитанные по формуле (2) для всех загрязняющих веществ, не более  $10^{-3}$ , по формуле (3) — отсутствуют. Между загрязняющими веществами практически отсутствует возможность взаимовлияния на концентрацию в фильтрате и поверхностных водах. По теореме перемножения вероятностей независимых событий риски загрязнения загрязняющими веществами попарно менее  $10^{-6}$  раз в сто лет.

При сохранении ежегодного количества образующихся ТКО в Сланцевском районе, с учетом загрязняющей активности отходов до 30 лет в Ленинградской области, концентрации  $Pb$ ,  $Cr$ ,  $Cd$ ,  $Cu$ ,  $Zn$ ,  $Ni$ , выделяющихся от ТКО не достигнут значение ПДК рыбохозяйственных водоемов.

Можно сделать вывод, что загрязнение вод р. Плюсса рассматриваемыми веществами от скоплений ТКО от населения и организаций Сланцевского района вероятно только в течение суток в аварийной ситуации.

### Литература

1. Венцюлис Л.С., Скорик Ю.И., Флоринская Т.М. Система обращения с отходами: принципы организации и оценочные критерии. — СПб.: изд-во ПИЯФ РАН, 2007. — 207 с.
2. Скорик Ю.И., Венцюлис Л.С., Лебедева А.А. Оценка риска загрязнения окружающей среды от отходов. // Учёные записки РГГМУ, 2012, № 24, с. 93–100.
3. Дикинис А.В., Илларионов А.В. Выявление источников и анализ распространения отдельных экологически опасных факторов в районе расположения ПТО-1 «Южный». Отчет о научно-исследовательской работе. — СПб.: РГГМУ, 2008.
4. Федоров П.М., Негуляева Е.Ю., Покровская Е.Р. Исследование и моделирование биохимических процессов, происходящих в полигонах твёрдых бытовых отходов. // Комплексная переработка ТБО — наиболее передовая технология. — СПб., 2001, с. 62–72.

5. Гидрологический ежегодник 1955–1975 гг. Бассейн Финского и Рижского заливов от гос. Границы с Финляндией до северного Водораздела р. Салаца. Под ред. Р.М. Урываевой, Н.Н. Болдыревой. Том 1. — Л.: Гидрометеиздат, 1975. — 555 с.
6. *Биненко В.И., Донченко В.К., Растоскуев В.В.* Риски и экологическая безопасность природно-хозяйственных систем. — СПб., 2012. — 353 с.
7. Определение основных расчетных гидрологических характеристик. СП 33-101-2003. // Консультант-Плюс — надежная правовая поддержка. Официальный сайт компании «Консультант Плюс». — Электронный ресурс: [<http://www.consultant.ru/>].
8. Об утверждении нормативов качества воды водных объектов рыбохозяйственного значения, в том числе нормативов предельно допустимых концентраций вредных веществ в водах водных объектов рыбохозяйственного значения: приказ Росрыболовства от 18.01.2010 № 20. // КонсультантПлюс — надежная правовая поддержка. Официальный сайт компании «Консультант Плюс». — Электронный ресурс: [<http://www.consultant.ru/>].
9. Количество образованных отходов в РФ. // Данные Федеральной службы государственной статистики. Официальный сайт Федеральная служба государственной статистики. — Электронный ресурс: [<http://www.gks.ru/>].