

DOI: 10.15593/24111678/2018.03.07

УДК 628.4.043.02

**Е.И. Поляков, Г.В. Ильиных, С.В. Польшгалов, Ю.В. Завизион**

Пермский национальный исследовательский политехнический университет, Пермь, Россия

**ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ОБЪЕМОВ ОБРАЗОВАНИЯ ОТХОДОВ ОТ ТОВАРОВ  
ДЛИТЕЛЬНОГО ПОЛЬЗОВАНИЯ И ОБЪЕКТОВ ГОРОДСКОГО ХОЗЯЙСТВА  
НА ПРИМЕРЕ ОТХОДОВ КОМПЬЮТЕРНОГО ОБОРУДОВАНИЯ**

Рост численности населения, урбанизация территорий и технологическое развитие современного общества приводят к постоянному увеличению негативного воздействия на окружающую среду, в том числе к образованию все больших объемов отходов, для надлежащего обращения с которыми требуются производственные мощности. Адекватное прогнозирование будущих объемов отходов требуется для своевременного создания перерабатывающих производств необходимой производительности. При этом многие товары, например автомобили или крупная бытовая техника, и большая часть объектов городского хозяйства, например малые архитектурные формы, имеют длительный срок службы (более 3 лет), поэтому образование отходов после окончания срока их эксплуатации происходит с задержкой по отношению к году производства. В статье рассмотрены основные вопросы оценки и прогноза объемов образования отходов от товаров длительного пользования и объектов городского хозяйства на примере отходов компьютерного оборудования. Представлены обобщенные тенденции к изменению массы, объема продаж, срока использования компьютерного оборудования с течением времени. На основе вышеперечисленных показателей предложена модель расчета массы образующихся отходов от товаров длительного пользования и объектов городского хозяйства и на примере отходов компьютерного оборудования составлен прогноз объемов их образования на ближайшие 10 лет в Российской Федерации.

**Ключевые слова:** товары длительного пользования, объекты городского хозяйства, компьютерное оборудование, образование отходов, воздействие на окружающую среду.

**E.I. Polyakov, G.V. Ilinykh, S.V. Polygalov, Y.V. Zavizion**

Perm National Research Polytechnic University, Perm, Russian Federation

**PREDICTION OF END-OF-LIFE WASTE AMOUNTS GENERATED  
FROM DURABLE GOODS CONSUMPTION AND URBAN FACILITIES  
BY THE EXAMPLE OF COMPUTER HARDWARE WASTE**

Population growth, territory urbanization and technological development of modern society lead to a constant increase in the negative impact on the environment, including the formation of larger waste amounts. Production capacities are required for proper waste handling. Adequate forecasting of future waste amounts is necessary for the timely implementation of processing facilities of the required productivity. At the same time, many goods, such as cars or large household appliances, and most of the urban facilities, for example small architectural forms, have a long lifespan (more than 3 year), therefore end-of-life waste generation is delayed. In the article the main issues of estimating and forecasting waste generation from durable goods and urban facilities by the example of computer hardware waste are considered. Generalized trends in the mass, sales, and the use of computer hardware over time are presented. On the basis of the above-mentioned indicators, a model for calculating the mass of waste generated from durable goods and urban facilities is proposed, and the forecast of the amounts of computer hardware waste generation for the next 10 years in the Russian Federation is performed.

**Keywords:** durable goods, urban facilities, computer hardware, waste generation, environmental impact.

**Актуальность**

Обеспечение экологической безопасности городского хозяйства связано с множеством аспектов, в том числе со своевременным удалением отходов и их безопасным обращением. В связи с этим возникают вопросы планирования мероприятий по обработке и утилизации отходов, решение которых требует достоверных сведений о потоке отходов не только в текущий

момент, но и на перспективу. Для оценки объемов образования отходов, образующихся по окончании срока эксплуатации товаров и объектов с длительным сроком эксплуатации (обычно более 3 лет [1, 2]), необходимо учитывать так называемые «запасы» – товары произведены несколько лет назад, эксплуатируются в настоящее время и станут отходами через некоторое время. С учетом неравномерного потребления таких товаров из года в год сведения о текущих объемах продаж не отражают объемы образующихся отходов в отличие от, например, отходов упаковки, которые образуются в среднем спустя несколько месяцев после производства упаковки.

В качестве примера отходов от товаров длительного пользования рассмотрены отходы компьютерного оборудования, специфика которых заключается как в достаточно длительном сроке использования данных товаров, так в существенных колебаниях их массы и объемов продаж ввиду исключительно быстрого развития технологий в этой области.

В настоящее время вопросы утилизации отходов электрического и электронного оборудования становятся все более актуальными ввиду ряда причин. Электрическое и электронное оборудование все чаще применяется в различных аспектах человеческой деятельности, что в совокупности с постоянным развитием технологий в данной отрасли и быстрым моральным устареванием оборудования приводит к образованию значительных объемов отходов [3, 4].

Электрическое и электронное оборудование – это оборудование, принцип действия которого основан на использовании электрического тока или электромагнитных полей, а также оборудование для их создания, передачи и измерения [5, 6]. В состав отходов электрического и электронного оборудования входят: бытовая техника, телекоммуникационное и компьютерное оборудование, осветительные приборы, игрушки, медицинское оборудование и др.

Ежегодно в мире производятся и продаются миллионы единиц электрического и электронного оборудования (ЭЭО), объемы продаж постоянно возрастают. Соответственно увеличивается количество образующихся отходов. В европейских странах доля отходов ЭЭО составляет 4–6 % в потоке муниципальных отходов, и прогнозы говорят о возрастании их объема ежегодно на 3–5 %, в России таких отходов образуется около 1,5 млн т/год [7, 8].

Электронное оборудование отличается от других видов отходов сложной компонентной структурой, наличием в составе достаточно большого количества токсичных компонентов – в составе отходов ЭЭО присутствуют тяжелые металлы (свинец, ртуть, мышьяк, бериллий), галогенизированные вещества, поливинилхлорид и бромосодержащие антипирены, а также асбест и мышьяк [9]. Кроме токсичных компонентов, в отходах ЭЭО содержатся драгоценные металлы (золото, серебро, платина, палладий и др.). Концентрация таких металлов, как, например, золото, в настольном компьютере выше, чем в природной руде, из которой оно извлекается [9].

Проблему отходов ЭЭО и их утилизации можно рассмотреть на примере отходов компьютерного оборудования. Выделение отходов компьютерного оборудования среди прочих отходов ЭЭО в некоторой степени условно, однако позволяет маркировать относительно однотипные устройства как с точки зрения их применения, так и с точки зрения их состава. К отходам компьютерного оборудования в рамках данной работы отнесены: аккумуляторные батареи, системные блоки компьютеров, клавиатуры, мониторы, звуковые колонки, манипуляторы, мини-компьютеры, планшеты, ноутбуки, телефоны и смартфоны, аккумуляторы и зарядные устройства, оргтехника. Из-за усложнения морфологического состава и увеличения числа поликомпонентных объектов в составе компьютерного оборудования процесс их переработки становится трудоемким [9].

Для планирования мероприятий по развитию системы обращения с этими отходами нужно понимать объемы их образования [10, 11]. В связи с этим актуальна разработка алгоритма оценки и прогнозирования объемов образования отходов компьютерного оборудования с учетом роста объемов потребления новых устройств. Однако, учитывая, что срок эксплуатации подобных устройств, как правило, превышает расчетный период оценки объема образующихся

отходов (обычно это 1 год), необходимо принимать во внимание также «поэтапный» выход устройств из эксплуатации.

**Алгоритм оценки и прогнозирования объемов образования отходов компьютерного оборудования**

Предложенный алгоритм включает в себя три основных этапа:

– 1 этап – анализ имеющихся данных, включающий в себя обработку информации, напрямую связанной с количественными показателями использования компьютерного оборудования, а также косвенных сведений, позволяющих судить о масштабах потребления компьютерной техники;

– 2 этап – оценка объемов образования отходов компьютерного оборудования, которая состоит из оценки трех показателей: количества применяемого компьютерного оборудования, его массы и срока эксплуатации, позволяющих выявить объем образования отходов компьютерного оборудования;

– 3 этап – прогнозирование объемов образования отходов компьютерного оборудования, которое основывается на двух вышеперечисленных пунктах алгоритма (рис. 1).

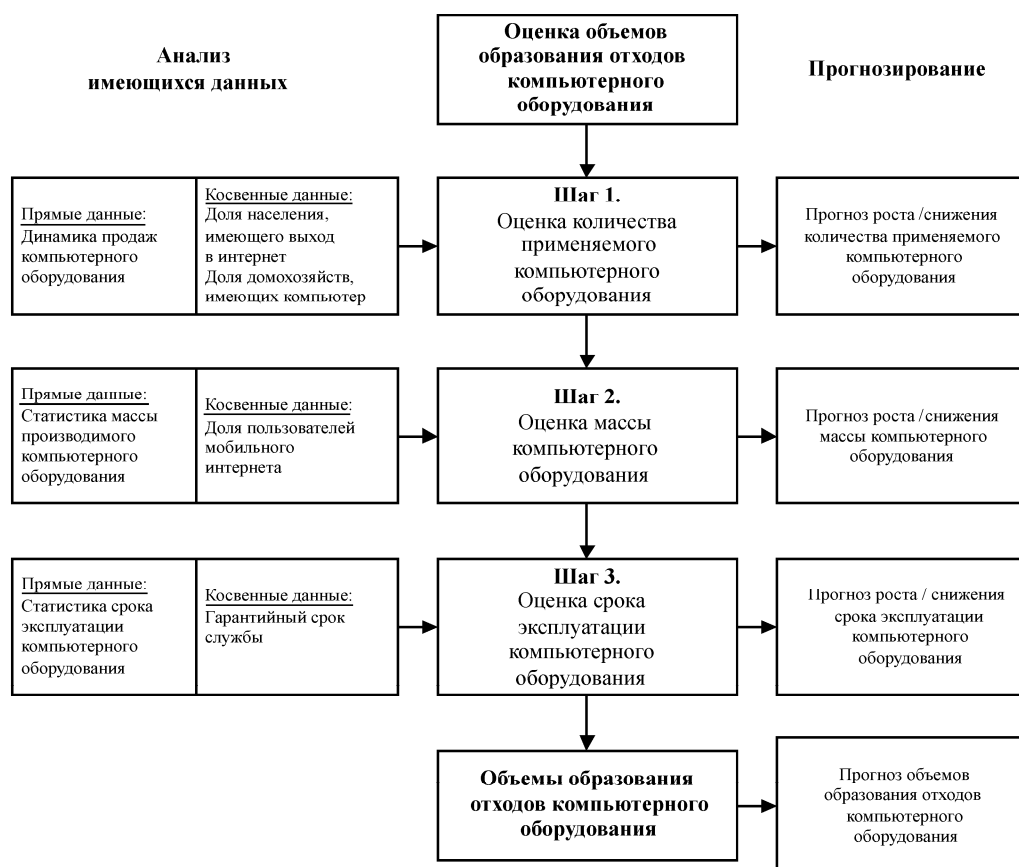


Рис. 1. Алгоритм прогнозирования объемов образования отходов компьютерного оборудования

Основная задача разработки данного алгоритма – оценка и прогнозирование объемов образования отходов компьютерного оборудования на основе первичных данных, касающихся потребления компьютерного оборудования.

**Оценка количества применяемого компьютерного оборудования**

Количество применяемого компьютерного оборудования можно косвенно оценить по числу пользователей сети Интернет. Количество пользователей и приобретенная ими компьютерная техника является важным показателем развития глобальной сети Интернет, и наоборот –

рост числа пользователей сети Интернет свидетельствует о наличии в пользовании технических устройств, позволяющих это делать. Еще 10 лет назад пользователей сети Интернет было в разы меньше, чем сегодня. В России в период с 1995 по 2015 г. их количество увеличилось на 70 % [12]. По данным Федеральной службы государственной статистики, в 2016 г. 74 % населения России в возрасте от 15 до 72 лет пользовались компьютером [13].

Более точной информацией по числу производимого компьютерного оборудования являются статистические сведения об объемах продаж, которые были получены из различных источников. На рис. 2 представлено изменение количества продаж отдельных видов компьютерного оборудования без учета комплектующих в Российской Федерации в период 2000–2015 гг., а также прогноз до 2027 г. [14].



Рис. 2. Динамика продаж компьютерного оборудования в РФ с прогнозом на 10 лет

Таким образом, в период с 2000 по 2015 г. объемы продаж компьютерной техники возросли в 13 раз. При этом объемы продаж персональных компьютеров практически не изменились, а продажи мобильных телефонов начиная с 2000-х гг. начали резко возрастать, а в последнее время падать – смартфоны и планшеты, появившиеся относительно недавно, характеризуются наибольшим ростом продаж и вытесняют мобильные телефоны.

### **Изменения массы компьютерного оборудования**

Развитие технологий, лежащих в основе работы компьютерного оборудования, существенно меняет не только их функциональные возможности, но и внешний вид, размеры и массу.

Первые компьютеры занимали огромное пространство, потребляли много энергии и имели очень ограниченную функциональность [12]. В начале XXI в. минимальная комплектация персонального компьютера – процессор, монитор, мышка, клавиатура – весила около 6 кг. При добавлении того или иного дополнительного оборудования, например принтера, колонок и других гаджетов, вес персонального компьютера мог значительно варьироваться.

Помимо привычного стационарного компьютера в 1980-х гг. началась история ноутбуков. В 1981 г. компанией Osborn Computer Corporation впервые был изобретен ноутбук весом более 11 кг, а на данный момент Apple MacBook – самый легкий ноутбук весом 920 г [14]. Из планшетных компьютеров на данный момент Apple iPad Pro 9.7 самый легкий в классе – 0,437 кг.

В целом в процессе развития вес персонального компьютера и мобильной техники снижается до определенных пределов, а затем стабилизируется или даже несколько возрастает с увеличением функциональных возможностей.

### ***Изменение срока использования компьютерного оборудования***

Средний срок службы электронного оборудования зависит от многих условий: техобслуживания, производителя, эксплуатации, качества комплектующих и т.д.

Уже в 1980-х гг. в советских источниках информации стала популярна проблема низкого качества компьютеров и их комплектующих. ГОСТ 27201–87 регламентировал характеристики советских ПК. По его условиям минимальная наработка на отказ для персональных компьютеров составляла 10 000 ч, однако реальное ее значение было гораздо ниже. Так, например, вместо ежедневной 8-часовой работы на протяжении трех лет у школьных ПК УКНЦ (КУВТ) и «Корвет» она была менее 1000 ч. У персональных компьютеров IBM PC наработка на отказ оценивалась в 3000–5000 ч. В 1991 г. эта цифра увеличилась и составляла в среднем 15 000 ч. На данный момент наработка на отказ для персональных компьютеров характеризуется величиной от 10 000 до 20 000 ч [14], а примерный срок службы компьютерного оборудования составляет 5–6 лет. Такой вывод можно сделать на основе анализа срока эксплуатации его составляющих. Наименьшей длительностью использования обладает аккумуляторная батарея – 1–2 года, в дальнейшем она начинает терять емкость. Память и жесткий диск эксплуатируются в течение 3–5 лет, материнская плата и чипы – в среднем 7 лет. Самым долговечным является дисплей, работающий до 20 лет [14].

В целом в процессе развития компьютерного оборудования срок эксплуатации возрастает, что свидетельствует о более высоком качестве производства и развитии технологий. Затем, по мере популяризации, оборудование все чаще меняется не по причине физического износа, а из-за морального устаревания, которое возникает под давлением модных тенденций.

При этом необходимо учитывать, что переход из состояния «продукт» в состояние «отход» происходит не одномоментно для всей партии компьютерного оборудования, произведенного или проданного в одно время. Принимая во внимание, что принципиально значима оценка образования отходов компьютерного оборудования в определенный год, отметим, что необходимы данные о проценте образования отходов в первой, второй и последующие годы его применения.

Для построения такой зависимости образования отходов можно использовать положения теории надежности технических устройств, согласно которой по своей физической сущности отказы элементов и устройств случайны. Для количественного описания отказов и показателей надежности применяется теория вероятностей. Для описания времени безотказной работы в период нормального износа, связанного с различными причинами возникновения отказов, используются разные законы распределения: экспоненциальный, модель Вейбулла, нормальный (модель Гаусса), логарифмический нормальный [15].

Наиболее удобной и универсальной для практических расчетов является нормальное распределение Гаусса – если на изменение случайной величины влияют факторы, примерно одинаковые по значению, то распределение обязательно подчиняется нормальному закону [15]. Для построения модели Гаусса используется два параметра: средний срок службы ( $t_{cp}$ ) и среднее квадратичное отклонение времени безотказной работы ( $\sigma$ ), которое является показателем ширины распределения кривой графика. Для расчета времени безотказной работы компьютерного оборудования принимается средний срок службы компьютерного оборудования каждой категории и среднее квадратичное отклонение, исчисляемое теоретически: если  $t_{cp} > 3$ , то  $\sigma = 1$  и если  $t_{cp} < 3$ , то  $\sigma = 0,7$ . Ниже представлен рис. 3, который служит примером нормального распределения для выхода из эксплуатации партии персональных компьютеров со временем (процент от изначального размера партии), при  $t_{cp} > 4$  и  $\sigma = 3$ .

Кривая Гаусса всегда имеет колоколообразный вид, симметричный относительно среднего значения: вначале происходит постепенное увеличение процента вышедшего из эксплуатации оборудования, далее идет максимальная точка, относительно которой график симметричен (средний срок эксплуатации), а затем падение, которое определяет уменьшение количества работоспособных изделий.

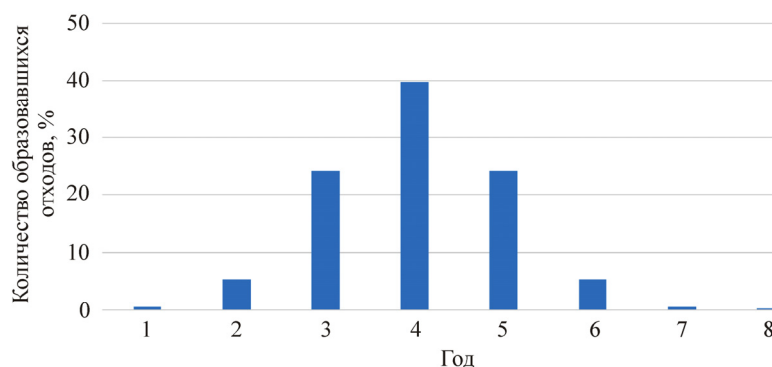


Рис. 3. Нормальное распределение отходов компьютерного оборудования, проданного в один год

Таким образом, можно построить кривую выхода из эксплуатации для отходов компьютерного оборудования, проданного в каждом конкретном году, как в процентах, так и в абсолютных показателях количества или массы. Наложение таких кривых позволит спрогнозировать объемы образования отходов.

**Оценка объемов образования отходов компьютерного оборудования**

Таким образом, образование отходов компьютерного оборудования за необходимый период можно рассчитать, используя такие характеристики компьютера, как масса, средний срок службы, и зная объемы продаж компьютерной техники.

В качестве примера была рассмотрена динамика образования отходов компьютерного оборудования в период 2007–2017 гг. и составлен прогноз образования отходов компьютерного оборудования на ближайшие 10 лет (2018–2027 гг.).

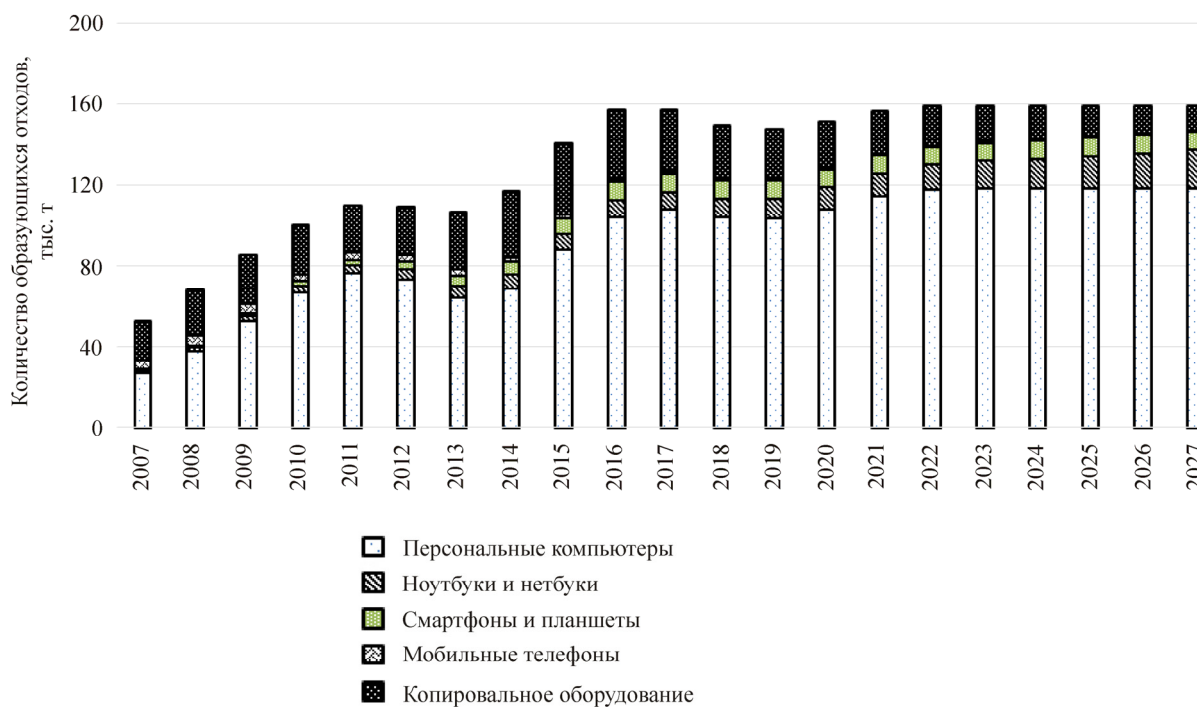


Рис. 4. Прогноз образования отходов компьютерного оборудования

При анализе диаграммы, изображенной на рис. 4, мы можем наблюдать увеличение образования отходов компьютерного оборудования в период с 2008 по 2017 г., на основании

которого составлен прогноз на период 2018–2027 гг. Данный прогноз показывает, что объемы образования отходов компьютерного оборудования в рассматриваемый период увеличатся незначительно и практически стабилизируются на отметке в 160 тыс. т, что обусловлено насыщением рынка компьютерного оборудования и стабилизацией спроса на новую технику.

### Выводы

Прогнозирование объемов образования отходов городского хозяйства – необходимое условие для эффективного планирования мероприятий по развитию системы обращения с отходами и обеспечения экологической безопасности урбанизированных территорий. Развитие технологий утилизации отходов компьютерного оборудования представляет интерес как точки зрения снижения выделения загрязняющих веществ в окружающую среду, так и с точки зрения возврата в хозяйственный оборот ценных ресурсов. Большую роль при этом играет прогнозирование объемов образования отходов. В результате сбора и анализа данных о количестве применяемого компьютерного оборудования, его массе и сроке эксплуатации можно оценить объем образования отходов в текущий момент и спрогнозировать на ближайшие несколько лет. Особенностью данной модели прогноза является использование нормального распределения Гаусса для оценки срока эксплуатации оборудования и ее универсальность – с помощью нее можно просчитать объем образования различных отходов от товаров длительного пользования.

### Список литературы

1. Cooper T. Beyond recycling: The longer life option. Whitechapel Road. – London: The New Economics Foundation, 1994. – P. 5.
2. Young W. Sustainable consumption: Green consumer behavior when purchasing products // Sustainable Development. – 2010. – Vol. 18. – P. 20–31.
3. E-waste volume II: E-waste management manual. United Nations Environment Programme, 2007. – 128 p.
4. Guidance on best available treatment, recovery and recycling techniques (BATRRRT) and treatment of waste electrical and electronic equipment (WEEE) / Published by the Department for Environment, Food and Rural Affairs of UK, 2006. – 27 p.
5. WEEE recycling, research, development, and policies / A. Chagnes, G. Cote, C. Ekberg, M. Nilsson, T. Retegan. – Elsevier, 2017. – 219 p.
6. Миронов Л.В. Отходы электронного и электрического оборудования: практика обращения, 2011. – 45 с.
7. Waste electrical and electronic equipment management and Basel Convention compliance in Brazil, Russia, India, China and South Africa (BRICS) nations / S.K. Ghosh, B. Debnath, R. Baidya [et al.] // Waste Management & Research. – 2016. – Vol. 34(8). – P. 693–706.
8. Уланова О.В. Электронное и электрическое оборудование: предпосылки для переработки // Твердые бытовые отходы. – 2013. – № 3. – С. 8–13.
9. Филина Н.Н. Наш песочный, песочный век. Новые технологии и бизнес. – М.: Академический Проект, 2005. – 208 с.
10. Шулаева Ю.Е. Динамика образования и накопления электронных отходов в Донецкой области // Экономический вестник Донбасса. – 2013. – № 3 – С. 9–13.
11. Максимова М.А. Анализ состояния переработки электронного лома в России // Известия Сибирского отделения Секции наук о Земле Российской академии естественных наук. Геология, разведка и разработка месторождений полезных ископаемых. 2016. – № 3 – С. 102–111.
12. Кац И.С., Тихонова Л.В. Компьютерный Рынок: настоящее и ближайшее будущее [Электронный ресурс] // Маркетинг в России и за рубежом. – 2001. – № 3. – URL: <http://www.mavriz.ru/articles/2001/3/1445.html> (дата обращения: 19.05.2018).

13. Использование населением персонального компьютера [Электронный ресурс] // Федеральная служба государственной статистики РФ. – URL: [http://www.gks.ru/free\\_doc/new\\_site/business/it/fed\\_nabl-croc/PublishData%5CReports%5CReports\\_2016.html](http://www.gks.ru/free_doc/new_site/business/it/fed_nabl-croc/PublishData%5CReports%5CReports_2016.html) (дата обращения: 02.04.2018).

14. Перевалова В.И. Анализ рынка компьютерной техники в РФ [Электронный ресурс] // Молодежный научный форум: Общественные и экономические науки: Электр. сб. ст. по материалам XIX студ. Междунар. заочной науч.-практ. конф. – 2014 – № 12(19). – URL: [https://nauchforum.ru/archive/MNF\\_social/12\(19\).pdf](https://nauchforum.ru/archive/MNF_social/12(19).pdf) (дата обращения: 19.05.2018).

15. Авакян А.А., Дмитриенко А.Г. Закон распределения отказов элементов и систем электроники // Надежность и качество сложных систем. – 2013. – № 1. – С. 47–53.

#### References

1. Cooper T. Beyond recycling: The longer life option. Whitechapel Road, London: The New Economics Foundation, 1994, p. 5.

2. Young W. Sustainable consumption: green consumer behaviour when purchasing products. *Sustainable Development*, 2010, 18, pp. 20-31.

3. E-waste volume II: E-waste Management Manual. United Nations Environment Programme, 2007, 128 p.

4. Guidance on best available treatment, recovery and recycling techniques (BATRR) and treatment of waste electrical and electronic equipment (WEEE). Published by the Department for Environment, Food and Rural Affairs of UK, 2006, 27 p.

5. Chagnes A., Cote G., Ekberg C., Nilsson M., Retegan T. WEEE recycling, research, development, and policies. Elsevier, 2017, p. 219.

6. Mironov L.V. Othody ehlektronnogo i ehlektricheskogo oborudovaniya: praktika obrashcheniya [Waste electrical and electronic equipment: handling practice], 2011, 45 p.

7. Ghosh S.K., Debnath B., Baidya R. et al. Waste electrical and electronic equipment management and Basel Convention compliance in Brazil, Russia, India, China and South Africa (BRICS) nations. *Waste Management & Research*, 2016, Vol. 34(8), pp. 693-706.

8. Ulanova O.V. Elektronnoe i elektricheskoe oborudovanie: predposylki dlya pererabotki [Waste electrical and electronic equipment: preconditions for recycling]. *Tverdye bytovye othody*, 2013, 3, pp. 8-13.

9. Filina N.N. Nash pesochnyj, pesochnyj vek. Novye tekhnologii i biznes [Our sandy, sandy sentury. New technologies and business]. Moscow, Akademicheskij Proekt, 2005, 208 p.

10. Shulaeva Y.E. Dinamika obrazovaniya i nakopleniya ehlektronnyh othodov v Doneckoj oblasti [Dynamics of WEEE generation and accumulation in Donetsk region]. *Ekonomicheskij vestnik Donbasa*, 2013, pp. 9-13.

11. Maksimova M.A. Analiz sostoyaniya pererabotki elektronnoho loma v Rossii [Analysis of WEEE recycling in Russia]. *Izvestiya Sibirskogo otdeleniya Sekcii nauk o Zemle Rossijskoj akademii estestvennyh nauk. Geologiya, razvedka i razrabotka mestorozhdenij poleznyh iskopaemyh*. 2016, 3, pp. 102-111.

12. Кас I.S., Tihonova L.V. Kompyuternyj Rynok: nastoyashchee i blizhajshee budushchee [Computer market: today and nearest future]. *Marketing v Rossii i za rubezhom*. 2001, no. 3, available at: <http://www.mavriz.ru/articles/2001/3/1445.html> (accessed 02 April 2018).

13. Ispol'zovanie naseleniem personal'nogo komp'yutera [Computer application by people]. Federal'naya sluzhba gosudarstvennoj statistiki RF. – URL: [http://www.gks.ru/free\\_doc/new\\_site/business/it/fed\\_nabl-croc/PublishData%5CReports%5CReports\\_2016.html](http://www.gks.ru/free_doc/new_site/business/it/fed_nabl-croc/PublishData%5CReports%5CReports_2016.html) (accessed 19 May 2018).

14. Perevalova V.I. Analiz rynka komp'yuternoj tehniki v RF [Analysis of computer equipment market]. *Molodezhnyj nauchnyj forum: Obshhestvennye i jekonomicheskie nauki* no. 12(19), available at: [https://nauchforum.ru/archive/MNF\\_social/12\(19\).pdf](https://nauchforum.ru/archive/MNF_social/12(19).pdf) (accessed 19 May 2018).

15. Avakyan A.A., Dmitrienko A.G. Zakon raspredeleniya otkazov ehlementov i sistem ehlektroniki [Law of elements and systems of electronics failures distribution]. *Nadezhnost i kachestvo slozhnyh system*, 2013, no. 1, pp. 47–53.

Получено 09.07.2018

#### Об авторах

**Поляков Евгений Игоревич** (Пермь, Россия) – магистрант кафедры «Охрана окружающей среды» Пермского национального исследовательского политехнического университета (614990, г. Пермь, Комсомольский пр., 29, e-mail: [underwater.1@mail.ru](mailto:underwater.1@mail.ru)).

**Ильинных Галина Викторовна** (Пермь, Россия) – кандидат технических наук, доцент кафедры «Охрана окружающей среды» Пермского национального исследовательского политехнического университета (614990, г. Пермь, Комсомольский пр., 29, e-mail: [galina.perm.59@yandex.ru](mailto:galina.perm.59@yandex.ru)).



**Полыгалов Степан Владимирович** (Пермь, Россия) – ассистент кафедры «Охрана окружающей среды» Пермского национального исследовательского политехнического университета (614990, г. Пермь, Комсомольский пр., 29, e-mail: polyste17@mail.ru).

**Завизион Юлия Владимировна** (Пермь, Россия) – ассистент кафедры «Охрана окружающей среды» Пермского национального исследовательского политехнического университета (614990, г. Пермь, Комсомольский пр., 29, e-mail: juliagubaha@mail.ru).

#### **About the authors**

**Evgeniy I. Polyakov** (Perm, Russian Federation) – Master Student, Department of Environmental Protection, Perm National Research Polytechnic University (29, Komsomolsky av., Perm, 614990, Russian Federation, e-mail: underwater.1@mail.ru).

**Galina V. Pinykh** (Perm, Russian Federation) – Ph.D. in Technical Sciences, Associate Professor, Department of Environmental Protection, Perm National Research Polytechnic University (29, Komsomolsky av., Perm, 614990, Russian Federation, e-mail: galina.perm.59@yandex.ru).

**Stepan V. Polygalov** (Perm, Russian Federation) – Assistant, Department of Environmental Protection, Perm National Research Polytechnic University (29, Komsomolsky av., Perm, 614990, Russian Federation, e-mail: polyste17@mail.ru).

**Julia V. Zavizion** (Perm, Russian Federation) – Assistant, Department of Environmental Protection, Perm National Research Polytechnic University (29, Komsomolsky av., Perm, 614990, Russian Federation, e-mail: juliagubaha@mail.ru).