

УДК 004:502

И.Ю. Жилина*

ЦИФРОВОЙ МИР И ОКРУЖАЮЩАЯ СРЕДА

Аннотация. Рассматривается структура цифрового мира, различные аспекты влияния его элементов на потребление энергии и природных ресурсов, загрязнение окружающей среды, а также принципы цифровой умеренности, призванные снизить негативное воздействие цифровых технологий на окружающую среду.

Ключевые слова: окружающая среда; экосистемы; парниковые газы; изменение климата; информационно-коммуникационные и цифровые технологии; цифровой мир; цифровая трезвость.

I.Yu. Zhilina

The digital world and the environment

Abstract. The paper considers the structure of the digital world, various aspects of the impact of its elements on energy and natural resources consumption, environmental pollution, as well as the principles of digital sobriety, designed to reduce the negative effects of digital technologies on the environment.

Keywords: environment; ecosystems; greenhouse gas; climate change; information, communication and digital technologies; digital world; digital sobriety.

* **Жилина Ирина Юрьевна**, канд. истор. наук, старший научный сотрудник Отдела экономики Института научной информации по общественным наукам РАН (ИНИОН РАН).

Zhilina Irina, PhD (Histor. Sci.), senior researcher of the Department of economics, Institute of Scientific Information for Social Sciences of the Russian Academy of Sciences (Moscow, Russia)

Введение

В настоящее время в научной среде и в средствах массовой информации широко обсуждается проблема деградации окружающей среды (ОС), вызванной глобальным потеплением, по распространенному мнению, вследствие человеческой деятельности. Не случайно экологические проблемы стали центральной темой Всемирного экономического форума 2020 г. (ВЭФ-2020).

В докладе, подготовленном ВЭФ совместно с международной консалтинговой компанией PricewaterhouseCoopers (PwC), отмечается, что за последние 50 лет человечество добилось четырехкратного роста мировой экономики, удвоения численности населения планеты, увеличения ожидаемой продолжительности жизни, выведения из крайней нищеты 1 млрд человек. Однако платой за эти достижения стала деградация естественных экосистем, являющихся основой жизни на Земле [Nature Risk Rising, 2020, p. 9]. Перед открытием Конференции по климату в Мадриде в 2019 г. Генеральный секретарь ООН А. Гутерреш заявил, что «десятилетиями люди воевали с планетой, и вот теперь она наносит ответный удар». При этом он подчеркнул, что изменение климата – больше не проблема отдаленного будущего. Оно угрожает человечеству уже сегодня [Мы должны..., 2019].

Человеческая деятельность уже серьезно изменила 75% суши и 66% морской среды. К настоящему времени ежегодная добыча природных ресурсов, включая ископаемое топливо и биомассу, увеличилась в 3,4 раза по сравнению с 1970 г. За этот же период на 83% сократилась популяция позвоночных; в результате промышленного вылова рыбы потеряно 33% рыбных запасов [Nature Risk Rising, 2020, p. 9, 11].

В последние годы человечество ежегодно теряет более 3 млн га тропических лесов, являющихся одной из самых важных, с точки зрения биоразнообразия, экосистем в мире. Пожары в бореальных лесах в настоящее время являются более масштабными и разрушительными, чем в течение последних 10 тыс. лет, и, согласно климатическим моделям, ситуация будет ухудшаться. За последние 50 лет число мертвых зон в океане, т.е. районов со слишком низким для поддержания морской жизни уровнем кислорода, увеличилось в четыре раза. Сегодня на планете существует более 400 таких мертвых зон, общая площадь которых превышает территорию Соединенного Королевства. В глобальном масштабе экосистемы уменьшились в размерах на 47%, а их состояние ухудши-

лось по сравнению с исходными оценочными данными [Nature Risk Rising, 2020, p. 9, 11].

Изменение климата и ухудшение состояния ОС неразрывно связаны между собой. Доля углекислого газа (CO_2), выбрасываемого в атмосферу в результате уничтожения мангровых зарослей, торфяников и тропических лесов для нужд сельского хозяйства и других видов деятельности, составляет 13%. Разрушение этих экосистем высвобождает углерод из растительности и почв, одновременно подрывая способность Земли поглощать парниковые газы (ПГ) из атмосферы [Nature Risk Rising, 2020, p. 9].

Если бизнес продолжит работать по обычному сценарию («business as usual»), только из-за повышения глобальной температуры на 2°C по сравнению с доиндустриальной эпохой одному из каждых 20 видов растений и животных будет грозить исчезновение. Кроме того, будет утрачено более 99% коралловых рифов, на которых обитает более четверти всех видов морских рыб [Nature Risk Rising, 2020, p. 9].

В 2020 г. впервые за 15 лет эксперты ВЭФ среди наиболее вероятных в десятилетней перспективе глобальных рисков на первые пять позиций поставили такие экологические риски, как экстремальные погодные явления; неспособность мирового сообщества снизить темпы изменения климата; антропогенный экологический ущерб; значительная утрата биоразнообразия и разрушение наземных и морских экосистем с необратимыми последствиями для ОС, которые приводят к серьезному истощению ресурсов, необходимых для человечества и промышленности; крупные стихийные бедствия (землетрясения, цунами, извержения вулканов, геомагнитные грозы) [La planète en feu..., 2020].

Как ни парадоксально, заметный вклад в экологические проблемы внесла начавшаяся в 1980-е годы цифровая революция и последующее объединение множества информационно-коммуникационных технологий (ИКТ) с биотехнологиями, робототехникой, нанотехнологиями и др. Это объясняется двойственным характером воздействия цифровых технологий на ОС. С одной стороны, новые ИКТ открывают множество возможностей для решения экологических проблем. С другой, сложные взаимозависимости между виртуальным и реальным мирами и особенности функционирования цифровых технологий (высокая энергоемкость, большой объем потребления часто невозобновляемых и истощающихся природных ресурсов, проблемы с переработкой отслужившего

свой срок оборудования) вызывают возникновение системных рисков для общества и ОС.

Будущее земной экосистемы зависит от того, сумеет ли мировое сообщество использовать преимущества цифровой революции и справиться с ее угрозами. Как показало исследование международной группы ученых, деятельность человека в антропоцене¹ уже соперничает по влиянию на траекторию развития земной системы с геологическими процессами. Сохранение данной тенденции может привести планету к «Тепличной Земле», т.е. условиям, мало пригодным для жизни людей и для существования человеческой цивилизации в целом [Trajectories of..., 2018]. Без принятия определенных мер в отношении дальнейшего развития цифрового мира, цифровую экономику невозможно совместить с «зеленой» экономикой. Замедление реализации соответствующих мероприятий ведет к продолжению роста выбросов ПГ и ускорению климатических изменений, создающих угрозу человечеству.

Структура цифрового мира

Еще 10–12 лет назад ИКТ воспринимались в основном как фактор повышения производительности и благосостояния населения. Считалось, что они обеспечивают снижение выбросов ПГ за счет дематериализации бумажной документации и возможности удаленной работы. Однако, хотя многие цифровые технологии только начинали распространяться, а другие (Instagram, Google Диск (Google Drive)² или биткоин) еще не существовали, эксперты уже отмечали быстрый рост потребления электроэнергии в сфере ИКТ, а также увеличение отходов электронной промышленности [TIC et le Développement, 2008, p. 2].

Цифровой мир, как правило, подразделяют на три части: пользовательское оборудование (компьютеры, смартфоны, планшеты и т.д.), центры обработки данных (ЦОД) и телекоммуника-

¹ Антропоцен (пока неформальный геохронологический термин) – геологическая эпоха, отличительной чертой которой является доминирующее влияние человека на окружающую среду и климат.

² Google Drive – специальное пространство, выделенное для владельцев почтовых ящиков Google и предназначенное для хранения, внесения правок и синхронизации файлов. По сути, это группа офисных приложений, позволяющих работать с текстовыми документами, презентациями, чертежами, электронными таблицами и другими данными. – Режим доступа: <https://windowstips.ru/google-drive-chto-eto-takoe-i-kak-polzovatsya> (дата обращения: 23.07.2020).

ционные сети, соединяющие пользователей друг с другом и с ЦОД. Некоторые эксперты отдельно выделяют производство и эксплуатацию датчиков для Интернета вещей (IoT).

В 2019 г. в цифровом мире функционировало 34 млрд единиц различных устройств (за исключением таких аксессуаров, как зарядные устройства, клавиатуры, мыши, USB-ключи и т.д.). В этом же году в реальном мире насчитывалось 4,1 млрд пользователей цифрового оборудования, т.е. в среднем на одного пользователя приходилось 8 устройств. Наиболее распространенным видом оборудования являются смартфоны (3,5 млрд), другие телефоны (3,8 млрд), устройства отображения, такие как телевизоры, компьютерные экраны и видеопроекторы (3,1 млрд), а также подключенные объекты: динамики, Bluetooth, часы, термостаты, осветительные приборы и т.д., – общее количество которых в 2019 г. составляло 19 млрд единиц (от 8 до 30 млрд, согласно различным исследованиям) [Bordage, 2019, p. 8–9].

Современная телекоммуникационная сеть состоит из 1,1 млрд волоконных коробок DSL¹, 10 млн релейных антенн (от 2 G до 5 G) и около 200 млн другого активного WAN и LAN оборудования². В нескольких тысячах ЦОД размещено порядка 67 млн серверов и почти столько же единиц обслуживающего их оборудования [Bordage, 2019, p. 8–9].

По прогнозам, к 2030 г. парк цифрового оборудования составит как минимум 45–50 млрд единиц, а возможно и 70–100 млрд [Elkabbach, 2020].

Таким образом, виртуальный мир вполне материален: он состоит из компьютеров, экранов, смартфонов, миллионов километров медных и оптоволоконных кабелей, тысяч ЦОД, миллиардов телефонных зарядных устройств и т.д.

¹ Технологии DSL (Digital Subscriber Line) – цифровая абонентская линия, которая позволяет значительно увеличить скорость передачи данных по медным парам телефонных проводов без необходимости модернизации абонентских телефонных линий. – Режим доступа: <http://www.xdsl.ru/articles/dsl.htm> (дата обращения: 20.07.2020).

² WAN (Wide Area Network) – глобальная компьютерная сеть, Интернет LAN (Local Area Network) – локальная компьютерная сеть, т.е. компьютеры, соединенные между собой в границах дома или офиса. – Режим доступа: <https://help-wifi.com/poleznoe-i-interesnoe/cto-takoe-wan-chem-otlichaetsya-razem-wan-ot-lan-na-router/> (дата обращения: 20.07.2020).

«Светлая сторона» цифрового мира

В настоящее время цифровые инструменты и услуги (смартфоны, приложения, онлайн-банкинг, планировщики маршрутов с GPS, музыка и фильмы, доступные практически всегда и везде) прочно вошли в повседневную жизнь человека. В некоторых ситуациях они позволяют решить проблемы, которые без них невозможно было бы урегулировать. Положительные стороны цифровых технологий убедительно продемонстрировала пандемия COVID-19. Цифровые технологии обеспечили функционирование национальных органов власти в режиме реального времени, возможность работать удаленно и общаться с близкими миллионам людей, непрерывность образовательного процесса в школах и высших учебных заведениях. Предоставляя пользователям ресурсы для занятий йогой, фитнесом, просмотра кинофильмов, виртуального посещения музеев, спектаклей и других видов онлайн-досуга, а также предлагая практические советы и психологическую поддержку, они сделали самоизоляцию более терпимой. Созданы браслеты, помогающие соблюдать социальную дистанцию, и программы, позволяющие отслеживать контакты больных коронавирусом (правда, эти программы вызывают в обществе множество вопросов, связанных с использованием личных данных).

Цифровые технологии играют все более важную роль в сельском хозяйстве и промышленности, медицине и образовании, в переходе к возобновляемым источникам энергии (ВИЭ). Они позволяют наблюдать и контролировать в режиме реального времени состояние воздуха, лесов, рыбные запасы и рыбную ловлю; могут стать мощным рычагом для оптимизации энергетических, пищевых и мобильных систем. Их можно использовать для адаптации освещения общественных мест к фактическим потребностям населения, для обнаружения утечек в водопроводных сетях, а также для предоставления информации о доступных мобильных решениях в режиме реального времени. Цифровые технологии способствуют улучшению работы энергетических сетей, развитию ВИЭ и сокращению потребления электроэнергии в пиковые периоды. Их можно использовать для оптимизации сбора отходов, эффективного использования ресурсов в сельском хозяйстве и т.д.

Потенциал цифровых данных уже используется в ряде областей. Так, измерение биоразнообразия в значительной степени зависит от вклада тысяч любителей в базы данных, такие как

eBird¹. Использование цифровых данных позволило создать карты крыш, наиболее подходящих для установки солнечных батарей. Обмен данными о производстве и потреблении энергии облегчает управление сетью и позволяет определить эффективные способы сокращения индивидуального потребления электроэнергии [Livre blanc, 2018, p. 26].

В общем плане основным социетальным последствием цифровизации является ускорение обменов и процессов. Цифровые технологии, принесшие миру глобальные производственные цепочки, электронную торговлю, социальные медиа и экономику платформ, облегчают управление поставками, оптимизируют производственные процессы и стимулируют быстрые методы доставки, ускоряя таким образом темпы развития общества в целом.

«Темная сторона» цифрового мира

Все цифровое оборудование нуждается в энергии как на этапах производства, так и использования. В связи с этим прямое воздействие цифрового мира на ОС включает вклад в потребление энергии на стадии производства оборудования и его эксплуатации, в глобальное потепление (за счет выбросов ПГ на разных стадиях жизненного цикла оборудования) и в истощение некоторых природных ресурсов, а также различные формы воздействия на экосистемы на этапах добычи ресурсов и переработки использованного цифрового оборудования (электронных отходов).

Потребление энергии. На цифровой сектор приходится 4,2% мирового потребления первичной энергии (6800 млрд кВт·ч), 5,5% потребления электроэнергии и 0,2% (7,8 млн м³) потребления воды [Bordage, 2019, p. 9,10]. При этом рост энергоемкости мировой цифровой индустрии (+4% в год) в последние годы противоречит тенденции снижения энергоемкости мирового ВВП (-1,8%) [Pour une sobriété..., 2018, p. 1]. Это не только подтверждает материальный характер цифрового мира, но и служит доказательством того, что он не выполняет приписываемую функцию дематериализации экономики.

За последние пять лет не прослеживается ожидаемого воздействия цифровой революции на производительность и экономи-

¹ eBird – онлайн-база данных наблюдений за птицами, предоставляющая ученым, специалистам и натуралистам-любителям данные о распространении и численности птиц в режиме реального времени.

ческий рост в развитых странах. Темпы роста в зоне ОЭСР остаются стабильными (на уровне около 2% в год), в то время как рост расходов на цифровые технологии увеличился с 3 до более 5% в год [Pour une sobriété..., 2018, p. 1].

В современном мировом энергобалансе по-прежнему преобладает уголь (38,5% в 2017 г.), несмотря на высокий уровень выбросов ПГ угольными электростанциями (44,2% глобальных выбросов CO₂, связанных с энергетикой). В 2017 г. угольные электростанции произвели больше электроэнергии, чем все ВИЭ и атомные электростанции вместе взятые [Les chiffres clés..., 2019]. Цифровая экономика, как, впрочем, и другие сферы экономики, остается зависимой от угля. Так, изучение деятельности 44 ЦОД в 12 китайских провинциях показало, что 73% потребляемой ими электроэнергии произведено из угля [Powering the Cloud..., 2019, p. 6]. Темпы роста потребления энергии в цифровой сфере составляют 9% в год, что усиливает давление на электроэнергетику, только вступившую в процесс декарбонизации [Pour une sobriété..., 2018, p. 1].

На производство цифрового оборудования приходится 45% всей потребляемой цифровым миром электроэнергии, на его использование – 55% [Déployer la sobriété..., 2020, p. 14]. Наиболее энергоемким сектором использования цифровых технологий является обработка, хранение и маршрутизация данных, т.е. работа ЦОДов и телекоммуникационных сетей, на которые приходится 35% потребления первичной энергии цифрового мира [Bordage, 2019, p. 14]. И это вполне объяснимо: большие данные являются «топливом» цифровой экономики.

Экспоненциальный рост вычислительных мощностей, емкости хранилищ данных, сетей и интероперабельности позволяет собирать и обрабатывать огромные объемы информации с очень высокой скоростью. Каждую минуту в мире создаются сотни тысяч запросов в различные поисковые системы и постов в социальных сетях¹. По данным Google, если с момента зарождения цивилизации до 2003 г. было создано 5 эксабайт² данных, то в настоящее время человечество генерирует 2,5 эксабайта ежедневно [Will Democracy, 2017]. По прогнозам Международной корпорации данных (International Data Corporation, IDC), совокупный объем мировых

¹ В январе 2020 г. в мире насчитывалось 3,8 млрд пользователей социальных сетей – рост на 9% по сравнению с 2019 г. [Сергеева, 2020].

² Эксабайт – единица измерения количества информации, равная 10¹⁸ байт.

данных к 2025 г. вырастет до 175 зеттабайт¹ при годовом темпе роста в 61%. Через 10 лет в Интернете будет 150 млрд сетевых измерительных датчиков, т.е. в 20 раз больше, чем людей на Земле. По прогнозам, объем данных будет удваиваться каждые 12 часов [Patrizio, 2018].

Рост интернет-трафика обусловлен как постоянным увеличением количества пользователей Интернета (которое в январе 2020 г. составляло 4,54 млрд человек, что на 7% больше, чем в январе 2019 г. [Сергеева, 2020]), так и ростом трафика без вмешательства человека («машина к машине»), а также увеличением пропускной способности широкополосного Интернета, позволяющего подключать все большее количество устройств. Большая часть трафика идет через мобильные телефоны, которыми на начало 2020 г. пользовались 5,19 млрд человек [Сергеева, 2020].

По данным Google, ввод запроса в поисковую систему и ожидание результатов требует около 0,0003 кВт·ч электроэнергии. При том что только Google получает около 3,8 млн поисковых запросов в минуту, суммарных ежемесячных поисковых запросов среднестатистического пользователя вполне достаточно, чтобы обеспечить 60-ваттную лампочку электричеством минимум на три часа. По оценкам поисковой системы, еще в 2015 г. для обеспечения ее функционирования требовалось 5,7 ТВт·ч² электроэнергии [Stolz, Jungblut, 2019].

Но поисковые запросы не самый крупный «пожиратель» энергии (power guzzler). Гораздо больше энергии требует потоковая передача музыки и видео, поскольку 80% этих данных проходит через сеть в виде движущихся изображений. Причем почти 60% глобальной передачи данных приходится на онлайн-видео, т.е. потоки видеофайлов «по запросу», доступные через серверы различных платформ (YouTube, Netflix и т.д.) и просматриваемые без загрузки. И чем выше разрешение, тем больше данных отправляется и принимается [Climat: L'insoutenable..., 2019, p. 1–2]. Увеличение видеотрафика во многом связано также со стремлением контент-провайдеров, в основном интернет-гигантов, максимально эффективно использовать время, которое пользователи проводят в Интернете, и монетизировать свою аудиторию [Delépine, 2020].

Еще одним крупным «пожирателем» энергии являются облачные вычисления, т.е. места хранения данных на серверах,

¹ Зеттабайт – единица измерения количества информации, равная 10^{21} байт.

² Тераватт-час (ТВт·ч) – метрическая единица энергии, равная 10^9 кВт·ч.

которые могут быть расположены в любой точке мира, доступные в любое время и в любом месте.

Большое количество энергии потребляют и блокчейн-технологии. Согласно расчетам индекса энергопотребления биткойна (2018), для совершения одной биткойн-транзакции требуется около 819 кВт·ч электроэнергии. Такое же количество энергии могло бы обеспечить работу 150-ваттного холодильника в течение примерно восьми месяцев [Stolz, Jungblut, 2019]. Большой спрос на энергию предъявляют и другие блокчейн-технологии, в частности технология «распределенной бухгалтерской книги» (DLT)¹.

На цифровое потребление энергии определенное влияние оказывает программное обеспечение. Например, менее эффективный текстовый процессор требует существенно больше энергии для обработки того же документа по сравнению с более эффективным. В то же время обновление программного обеспечения часто приводит к замедлению или прекращению работы компьютеров или смартфонов, что вынуждает потребителей покупать новое оборудование [Stolz, Jungblut, 2019].

По оценкам, к 2025 г. цифровой мир будет потреблять в 3 раза больше энергии, чем в 2010 г. за счет увеличения количества оборудования и роста потребления энергии некоторыми его видами, в частности компьютерными экранами и телевизорами с большой диагональю [Bordage, 2019, p. 26].

Природные ресурсы. Современное «дематериализованное» общество все больше зависит от природных ресурсов, в частности разнообразных металлов, в том числе драгоценных (золото, серебро, палладий и т.д.). Так, для производства двухграммового электротехнического чипа требуется 32 кг сырья [Livre blanc, 2018, p. 9]. При производстве смартфонов используется около 50 металлов² и в целом 70 различных материалов [Marquet, 2019, p. 88]. В каждой конкретной единице цифрового оборудования содержится от нескольких граммов до нескольких тысячных грамма конкретного металла. Однако за последние пять лет на мировой рынок было

¹ DLT – база данных по транзакциям, которая хранится и обновляется независимо каждым пользователем (или узлом) в большой сети.

² В одном смартфоне содержится 8,75 г меди, 8,31 кобальта, 3,0 железа, 1,0 олова, 0,4 тантала, 0,25 серебра, 0,024 золота, 0,009 г палладия, т.е. в целом почти 19 г (не считая железа). См.: Что входит в состав смартфона – содержание химических элементов. – Режим доступа: https://webznam.ru/blog/sostav_smartfona/2017-11-02-480 (дата обращения: 20.07.2020).

выпущено 4,5 млрд смартфонов, 106 млн ПК, 163 млн ноутбуков, 120 млн планшетов, 454 млн телевизоров и мониторов. Поэтому масштабы потребления металлов в цифровой сфере огромны. На долю производства цифрового оборудования приходится 6% мирового потребления меди, по 35% олова и кобальта, 60% тантала, 80% иридия, 90% галлия. При этом производство цифрового оборудования в мире продолжает расти [Marquet, 2019, p. 88, 89]. Существенная зависимость цифрового мира от некоторых металлов повышает уязвимость общества с точки зрения дефицита ресурсов, последствий их добычи и переработки для ОС [Ravignan, 2020].

В настоящее время концентрация металлов в соответствующих рудах постоянно снижается, поскольку богатые месторождения уже выработаны. Например, содержание меди в эксплуатируемых на данный момент месторождениях составляет около 0,7% по сравнению с 3% в 1900 г. Таким образом, для производства 7 кг меди требуется одна тонна руды (по сравнению с 240 кг в 1900 г.). И эта тенденция характерна для большинства металлов. При этом количество энергии, необходимой для извлечения металла, с уменьшением его концентрации обычно увеличивается в геометрической прогрессии.

Технологические усовершенствования процесса извлечения металла из породы позволяют снизить его энергоемкость. Но эта рационализация лимитируется количеством минимальной энергии, необходимой для извлечения атома металла из его оксида. Как только этот предел будет достигнут (для некоторых металлов это произойдет довольно скоро), количество энергии, необходимой для извлечения металла из оксидов с уменьшением его концентрации в результате процессов измельчения и восстановления, будет только возрастать.

Таким образом, цифровые технологии способствуют истощению определенных ресурсов. Например, при текущих темпах добычи запасы составляют 15 лет для олова, 16 лет для золота, 20 лет для серебра, 39 лет для меди [Marquet, 2019, p. 88]. Однако эти оценки учитывают только известные запасы без учета будущих открытий, технологических усовершенствований или экономического развития. Как ожидается, пик производства многих компонентов, задействованных в изготовлении цифрового оборудования, будет достигнут в ближайшие десятилетия. В настоящее время очень трудно определить, какие из них незаменимы или станут таковыми.

Критичность используемых в цифровом мире материалов связана не только с их физическим дефицитом. Следует учитывать такие факторы, как местоположение шахт (например, добыча кобальта и тантала сосредоточена в такой нестабильной стране, как Демократическая Республика Конго) или социальная приемлемость добычи полезных ископаемых, которая зачастую обратно пропорциональна уровню благосостояния местного населения.

Практика свидетельствует о том, что ресурсное преимущество может стать экономическим «оружием» для ведения дипломатических и торговых войн. Так, Китай, на долю которого приходится 70,6% мирового производства редкоземельных элементов (РЗЭ) [Манзанаро, 2019], дважды за последние 10 лет прибегал к этому «оружию». Временное прекращение из-за политических разногласий экспорта РЗЭ в Японию в 2010 г. привело к сокращению предложения РЗЭ на мировом рынке и резкому скачку цен на них. Только в 2015 г. после урегулирования споров по РЗЭ в ВТО Китай вернулся к нормальной торговой практике.

В начале августа 2019 г. Ассоциация китайской редкоземельной промышленности выступила с протестом против новых тарифов, введенных президентом Д. Трампом, обвинив американскую администрацию в экономическом «запугивании». Китайское руководство через центральный орган КПК газету «Жэньминь Жибао» дало понять США, что рассматривает возможность соответствующего ограничения экспорта РЗЭ [Манзанаро, 2019]. В то же время китайские инвесторы активно добиваются контроля над месторождениями РЗЭ по всему миру. С одной стороны, производство РЗЭ является для Китая стратегически важной отраслью, с другой – страна несет от этой деятельности высокие экологические издержки¹.

Загрязнения, создаваемые цифровыми технологиями, делятся на два вида. Одни связаны с выбросами ПГ в результате производства используемой в цифровой сфере энергии. Другие относятся к промышленным процессам, применяемым на различных этапах жизненного цикла цифрового оборудования.

¹ Извлечение РЗЭ и их переработка до промышленного использования являются очень сложными, затратными и, кроме того, токсичными процессами, наносящими вред ОС. Производственная цепочка включает добычу руды, извлечение оксидов РЗЭ, очистку материала, превращение оксидов в сплавы металлов, включение сплавов в компоненты и производство конечной продукции.

Темпы роста выбросов ПГ цифрового мира составляют около 8% в год, их доля в общем объеме выбросов с 2013 по 2017 г. увеличилась с 2,5 до 3,7%. Выбросы ПГ в основном связаны с производством оборудования (40% выбросов цифрового мира) и его эксплуатацией ЦОДами и телекоммуникационными сетями (30% выбросов цифрового мира) [Bordage, 2019, p. 18]. Значительный вклад последних в увеличение выбросов ПГ объясняется развитием потоковых сервисов, предоставляющих онлайн-видео и музыку по запросам пользователей. Так, средние выбросы CO₂ при передаче онлайн-видео составляют более 300 млн т в год (2018), что сравнимо с выбросами ПГ Испании за год. Использование потоковых сервисов, таких как Spotify или Apple Music, во многих случаях оказывает более сильное воздействие на климат, чем производство и последующая утилизация компакт-дисков или записей [Stolz, Jungblut, 2019].

Существенное влияние на климат оказывают и блокчейн-технологии. Подсчитано, что вся биткойн-система производит около 22 Мт CO₂, что примерно соответствует CO₂-следу таких городов, как Гамбург, Вена или Лас-Вегас [Stolz, Jungblut, 2019].

По оценкам специалистов, в 2025 г. выбросы ПГ, связанные с цифровыми технологиями, могут достичь 8% мировых выбросов (в 2019 г. – примерно 4%), что сравнимо с выбросами автомобилей и двухколесных транспортных средств в настоящее время [Déployer la sobriété..., 2020, p. 15]. Более трети выбросов ПГ от цифровых технологий (35%) будет приходиться на производство пользовательских терминалов [Bordage, 2019, p. 26].

Значительными источниками загрязнения ОС являются электронные отходы, которые в настоящее время представляют собой самый быстрорастущий поток отходов в мире. Электронные отходы содержат много ценных и дефицитных материалов, таких как золото, платина, кобальт, редкоземельные металлы, большое количество алюминия и олова. По оценкам, объем электронных отходов в 2018 г. составлял 50 млн т, в 2021 г. достигнет 52, а к 2050 г. может превысить 120 млн т в год [A New Circular..., 2019, p. 9, 10].

Образно говоря, самые богатые на Земле залежи ценных материалов находятся на свалках или в домах людей. В одной тонне смартфонов в 100 раз больше золота, чем в одной тонне золотой руды. В 2017 г. было продано 1,46 млрд смартфонов, каждый из которых содержит компоненты, стоимостью более 100 долл. Их переработка принесла бы примерно 11,5 млрд долл

[A New Circular..., 2019, p. 15]. Более эффективное использование электронных компонентов, дающее им вторую жизнь, сохраняет природные ресурсы. В связи с этим эксперты ВЭФ предлагают организовать переход к экономике полного цикла в сфере электронных компонентов.

Несмотря на проблемы, связанные с извлечением металлов из электронных отходов (например, общие показатели извлечения кобальта составляют 30%), этот процесс в 2–10 раз более энергоэффективен, чем их производство из первичных руд. Кроме того, при извлечении из выброшенной электроники, например, золота выбросы CO₂ на единицу золота на 80% меньше, чем при его добыче [A New Circular..., 2019, p. 11].

В глобальном масштабе на сегодняшний день документально подтверждена переработка только 20% электронных отходов. Остальные 80% по большей части оказываются на свалках в развивающихся странах, а их переработка служит источником дохода в основном для неформального сектора этих стран. По данным на 2018 г., стоимость материалов, ежегодно извлекаемых из электронных отходов, составляет 62,5 млрд долл., что превышает ВВП большинства развивающихся стран [A New Circular..., 2019, p. 15].

Во многих развивающихся странах до 30% работников неформального сектора переработки отходов составляют женщины и дети. Основными методами извлечения ценных металлов из электронного оборудования здесь служит расплавление свинца в открытых горшках или растворение печатных плат в кислоте. Плохие условия труда приводят к тому, что работники подвергаются воздействию различных токсичных веществ [A New Circular..., 2019, p. 13], что пагубно отражается на их здоровье.

Если на участках добычи, производства или переработки не соблюдаются экологические нормативы, тяжелые металлы, фталаты (пластификаторы), растворители и другие вредные химические соединения непосредственно попадают в почву, воду или в воздух. Эти виды загрязнений, в отличие от выбросов ПГ, носящих глобальный характер, являются локальными, но наносят серьезный ущерб здоровью местного населения и способствуют эрозии биоразнообразия.

В 2019 г. прямые источники воздействия цифровых технологий на ОС (в порядке убывания значимости) располагались в следующем порядке: производство пользовательского оборудования (30–76% в зависимости от наблюдаемого экологического по-

казателя)¹; потребление электроэнергии оборудованием пользователя (1–29%); потребление электроэнергии телекоммуникационными сетями (1–21%); потребление электроэнергии ЦОД (1–16%); производство сетевого оборудования и оборудования для ЦОД (1–8%). Если к этому добавить воздействия, связанные с производством потребляемой электроэнергии, то на производство пользовательского оборудования приходится от 59 до 84% прямого общего воздействия цифровой экономики на ОС. Второе и третье места занимают телекоммуникационные сети и ЦОД [Bordage, 2019, p. 7].

В 2010 г. на компьютеры и связанные с ними устройства отображения приходилось от 33 до 40% общего воздействия цифровых технологий на ОС. С 2015 г. наблюдается постепенный сдвиг в сторону таких источников воздействия, как потоковое видео (9–23% воздействий), смартфоны (6–19% воздействий) и связанные объекты (10–14% воздействий). Наиболее заметной тенденцией является рост количества связанных объектов и встроенных вычислений (присутствуют в бытовых роботах, автомобилях и т.д.), количество которых к 2025 г. может составить 48 млрд единиц [Bordage, 2019, p. 12, 21].

Косвенное воздействие цифровых технологий на ОС

Цифровые технологии позволяют замещать материальные продукты или услуги их цифровыми эквивалентами. Однако если и удастся осуществить дематериализацию экономики, экологические выгоды в форме экономии энергии или ресурсов, ожидавшиеся от использования новых технологий, нивелируются за счет рематериализации и эффекта отскока (rebound effect)². Например, введение электронных счетов-фактур наносит ущерб ОС в плане выбросов ПГ в результате распечатки пользователями 35% счетов-фактур [Marquet, 2019, p. 91].

¹ В расчете учитывалось влияние цифровых технологий на мировой энергетический баланс, выбросы ПГ, потребление воды, истощение абиотических ресурсов.

² Эффект отскока (rebound effect) – это ухудшение результата энергосберегающих мероприятий. По сравнению с ожидаемым фактический эффект от реализации мероприятий по повышению энергоэффективности может оказаться существенно ниже.

Эффект отскока возникает, когда оптимизация экологического критерия не отвечает экономической, временной или пространственной оптимизации. Так, переход от электронно-лучевых экранов к жидкокристаллическим повысил энергоэффективность телевизоров. Но одновременное значительное увеличение размера экрана не позволило сократить общее потребление энергии. Прямые и косвенные эффекты отскока от оптимизации могут также вызвать макроэкономические изменения (снижение цены ресурса за счет снижения спроса и т.д.).

Доступность и простота онлайн-бизнес-практик увеличивают склонность людей к потреблению [Marquet, 2019, p. 91]. Этот эффект не является специфическим для цифрового мира, он существует во всех отраслях и выражается в различных формах. Повышение эффективности потребления ведет к высвобождению средств, которые пользователь может вложить в дополнительное потребление этого же продукта (прямой эффект), в приобретение других товаров или услуг (косвенный эффект). При этом существует риск того, что сэкономленные средства (например, за счет сокращения расходов на отопление) могут быть реинвестированы в высокоуглеродные продукты или услуги (в частности, воздушный транспорт). Услуги по онлайн-торговле позволяют сэкономить время, которое можно потратить на другие, в том числе опасные для ОС виды деятельности.

Неопределенность экологических последствий цифровой революции особенно ощутима в сфере мобильности. С одной стороны, будущие автономные транспортные средства можно использовать совместно как дополнение к общественному транспорту. С другой, они могут оставаться личной собственностью людей, предпочитающих более комфортные условия проживания (вдали от рабочего места) и персональный транспорт. Возможно, вскоре города будут заполнены «зомби»-автомобилями, ожидающими своих владельцев, чтобы отвезти их из офисов домой. В зависимости от сценария расширение прав и возможностей приведет к сокращению или, наоборот, к увеличению потребления энергии для обеспечения мобильности. От того, как новые цифровые продукты и услуги будут разрабатываться и использоваться, а также регулироваться государственными органами, будет зависеть вектор их влияния на ОС.

Концепция «цифровой трезвости»¹

История развития ИКТ показывает, что прогресс, достигнутый в этой области, способствует постоянному росту спроса на цифровые продукты, услуги и технологии. Однако экологические последствия развития цифровой экономики свидетельствуют о необходимости оптимизации компьютерных систем для снижения их негативных воздействий на ОС.

Примером возможного способа достижения этой цели служит концепция «цифровой трезвости», предложенная французской ассоциацией GreenIT.fr² в 2008 г. Она подразумевает поощрение разумного использования цифровых технологий, низкотехнологичного экодизайна веб-сайтов и практик снижения энергетического и углеродного следов цифровых технологий. Цифровая трезвость предполагает сокращение избыточного цифрового потребления за счет выстраивания иерархии реальных потребностей, прежде всего, на индивидуальном уровне, а также на уровне компаний и администраций.

В последующие годы эта концепция была принята на вооружение и получила дальнейшее развитие в исследованиях другого французского аналитического центра – The Shift Project³. Работы этих организаций широко обсуждаются во французских средствах массовой информации и специальной литературе.

Сторонники концепции «цифровой трезвости» предлагают несколько простых мер, которые могли бы к 2030 г. значительно уменьшить глобальный цифровой экологический след. К ним относятся: сокращение количества связанных объектов за счет содействия их взаимообмену и замене, а также открытия их API⁴; сокращение количества экранов за счет замены их другими устройствами отображения (очками дополненной / виртуальной реальности, светодиодными видеопроекторами и т.д.); увеличение срока службы профессионального оборудования на предприятиях и в ин-

¹ Термин «цифровая трезвость» происходит от фр. «sobriété numérique».

² Сайт ассоциации GreenIT.fr <https://www.greenit.fr> (дата обращения: 20.07.2020).

³ Сайт аналитического центра The Shift Project <https://theshiftproject.org/en/home/> (дата обращения: 20.07.2020).

⁴ API – Application Programming Interface (программный интерфейс приложения) – это составная часть сервера, которая получает запросы и отправляет ответы. – Режим доступа: <https://dev.by/news/chto-takoe-api-prostym-yazykom> (дата обращения: 19.07.2020).

дидуальном пользовании. С 1985 по 2015 г. время использования компьютера за счет действия ряда факторов сократилось с 11 до 4 лет, в том числе продления законодательно установленного гарантийного срока, поощрения повторного использования, борьбы с определенными формулами подписки и т.д. [Bordage, 2019, p. 29; Lean ICT..., 2018, p. 29–30].

В рамках реализации концепции «цифровой трезвости» уже предпринят ряд инициатив. Компании, входящие в Green.IT Club, уже 10 лет осуществляют стратегии, позволяющие им менять политику закупок и продлевать срок службы оборудования, в частности, обеспечивая его повторное использование. GreenIT.fr и некоммерческая организация Ответственный цифровой дизайн (фр. *Conception numérique responsable*), объединяющая экспертов, представителей частных и государственных организаций, разрабатывают методологию и инструменты экодизайна, которые уже позволили снизить энергозатраты веб-сайта в три раза при одновременном повышении удобства работы пользователей [Livre blanc, 2018, p. 14].

В 2015 г. Green.IT запустила программу EcoIndex, позволяющую оценить воздействие на ОС любой веб-страницы. Программа анализирует веб-сайт на основе ряда технических параметров, содержащих информацию о сложности страницы, количестве обменов данными и т.д.

Чтобы облегчить компаниям «трезвый» подход к цифровым технологиям, The Shift Project разработал цифровой экологический регистр (Digital Environmental Registry, DER), в котором содержатся данные о количестве энергии и сырья, потребляемого при производстве и использовании цифровых технологий. Это позволяет количественно оценивать цифровые проекты не только с точки зрения финансовых и человеческих затрат, но и с точки зрения энергопотребления. Для индивидуальных пользователей The Shift Project создал программу Carbonalyser, позволяющую показать скрытую сторону цифрового мира. Программа подсчитывает количество байт, проходящих через браузер, и время, проведенное пользователем в Интернете, рассчитывает энергопотребление терминала (смартфона, ноутбука, планшета...), ЦОДов и сетевой инфраструктуры, отображает это энергопотребление и показывает, сколько раз можно было бы зарядить смартфон затраченной энергией. Carbonalyser также преобразует потребленную мощность в эмиссию ПГ (в CO₂-эквиваленте). Для большей наглядности программа показывает, какое расстояние должна проехать автомашина для эмиссии эквивалентного объема ПГ [Pouliquen, 2019].

Для сокращения цифрового воздействия на ОС некоторые специалисты предлагают законодательно установить определенные стандарты для цифрового оборудования, подобные тем, что действуют в других секторах. Так, согласно стандартам, с 2020 г. французские автопроизводители должны следить за тем, чтобы средний выброс CO_2 новых автомобилей не превышал 95 г на километр пробега. В противном случае им грозит штраф. То же самое можно сделать и для производителей цифровых устройств по нескольким параметрам. Например, средний углеродный след смартфонов не должен превышать столько-то граммов CO_2 , производители должны гарантировать ремонтпригодность своих устройств не менее пяти лет и даже более, а также включать 25% или 50% переработанных продуктов в состав своего оборудования в течение определенного срока [Ravignan, Delépine, 2020]. Законодательное закрепление обязательств производителей цифровых технологий позволит выйти за рамки предписаний, адресованных только потребителю, который, как правило, не осознает экологических последствий цифрового мира.

Кроме того, в совершенствовании нуждаются стратегии государственной поддержки инноваций, поскольку в них не учитывается экологическое воздействие инновационных проектов. В связи с этим в некоторые формы государственной поддержки инноваций необходимо включать экологические условия и факторы [Digital technology..., 2019].

Несмотря на повышение осведомленности общества об источниках и масштабах воздействия цифровых технологий на климат и ОС, а также о технологических достижениях в этой области и пропаганду «трезвого» подхода к использованию цифровых технологий, реального прогресса в плане сокращения энергопотребления или выбросов ПГ цифровым миром пока не наблюдается.

Заключение

Цифровой мир часто называют виртуальным, но цифровая экономика является материальной индустрией. Производство и использование цифрового оборудования и инфраструктуры требует значительного количества энергии и невозобновляемых, часто крайне дефицитных, природных ресурсов. Извлечение этих ресурсов и их преобразование в электронные компоненты, а также загрязнение, связанное с их жизненным циклом, безусловно, оказывают негативное воздействие на ОС. Поэтому, помогая другим

секторам уменьшать влияние на ОС, самому цифровому сектору необходимо параллельно решать проблему снижения собственного неблагоприятного воздействия на ОС.

Влияние цифровых технологий на ОС и их роль в будущем во многом зависит от того, какие новые технологии получают распространение (5 G, автономные транспортные средства, виртуальная реальность, искусственный интеллект, Интернет вещей и т.д.), с какой скоростью будут оснащаться цифровым оборудованием разные страны и как будет развиваться энергетический сектор. На сегодняшний день в экспертной среде исчерпывающих ответов на эти вопросы нет. Среднесрочные прогнозы указывают на то, что доля «чистых» материалов в общем потреблении электроэнергии в 2030 г. может превысить 20%, но этот показатель варьирует от 8 до 50% в зависимости от допущений [Marquet, 2019, p. 97]. Разнообразные данные также свидетельствуют о том, что в ближайшие десятилетия человечество едва ли сможет ограничить свое цифровое потребление.

Список литературы

1. Манзанаро С.С. Почему редкоземельные элементы стали оружием в экономической войне США и Китая // Euronews. – 2019. – 16.08. – Режим доступа: <https://ru.euronews.com/2019/08/16/rare-earth-elements-ru> (дата обращения: 15.05.2020).
2. Мы должны прекратить войну с природой: глава ООН в Мадриде // Новости ООН. – 2019. – 01.12. – Режим доступа: <https://news.un.org/ru/story/2019/12/1368231> (дата обращения: 22.08.2020).
3. Сергеева Ю. Вся статистика Интернета на 2020 год – цифры и тренды в мире и в России // WebCanape. – 2020. – 03.02. – Режим доступа: <https://www.webcanape.ru/business/internet-2020-globalnaya-statistika-i-trendy/> (дата обращения: 11.04.2020).
4. A New Circular Vision for Electronics: Time for a Global Reboot // WEF. – 2019. – January. – Mode of access: http://www3.weforum.org/docs/WEF_A_New_Circular_Vision_for_Electronics.pdf (дата обращения: 01.06.2020).
5. Bordage F. Empreinte environnementale du numérique mondial. Version 2.0 // GreenIT.fr. – 2019. – Septembre. – Mode of access: https://www.greenit.fr/wp-content/uploads/2019/10/2019-10-GREENIT-etude_EENM-rapport-accessible_VF_pdf (дата обращения: 07.05.2020).
6. Climat: L'insoutenable usage de la vidéo en ligne. Un cas pratique pour la sobriété numérique. Résumé aux décideurs // The Shift Project. – 2019. – Juillet. – Mode

- of access: https://theshiftproject.org/wp-content/uploads/2019/07/R%C3%A9sum%C3%A9-aux-d%C3%A9cideurs_FR_Linsoutenable-usage-de-la-vid%C3%A9o-en-ligne.pdf (дата обращения: 07.05.2020).
7. Delépine J. Qu'est-ce qui nous pousse à toujours plus cliquer? // Alternatives Economiques. – P., 2020. – N 397. – Mode of access: <https://www.alternatives-economiques.fr/quest-pousse-a-toujours-plus-cliquer/00091397> (дата обращения: 12.05.2020).
 8. Déployer la sobriété numérique / Rapport intermédiaire // The Shift Project. – 2020. – Janvier. – Mode of access: https://theshiftproject.org/wp-content/uploads/2020/01/2020-01-16_Rapport-interm%C3%A9diaire_D%C3%A9ployer-la-sobri%C3%A9t%C3%A9-num%C3%A9rique_v5.pdf (дата обращения: 21.05.2020).
 9. Digital technology: an environmental opportunity or challenge? // Hello Future. – 2019. – 15.04. – Mode of access: <https://hellofuture.orange.com/en/digital-technology-an-environmental-opportunity-or-challenge> (дата обращения: 25.02.2020).
 10. Elkabbach L.-A. Empreinte environnementale du numérique: «La sobriété, ce n'est pas le retour au goulag» // Public Senat. – 2020. – 29.01. – Mode of access: <https://www.publicsenat.fr/article/parlementaire/empreinte-environnementale-du-numerique-la-sobriete-ce-n-est-pas-le-retour-au> (дата обращения: 05.05.2020).
 11. La planète en feu: Des incendies climatiques aux conflits politiques // WEF. – 2020. – 15 janvié. – Mode of access: <https://www.weforum.org/press/2020/01/burning-planet-climate-fires-and-political-flame-wars-rage> (дата обращения: 01.03.2020).
 12. Lean ICT – Pour une sobriété numérique // The Shift Project. – 2018. – Mars. – Mode of access: https://theshiftproject.org/wp-content/uploads/2018/05/2018-05-17_Rapport-interm%C3%A9diaire_Lean-ICT-Pour-une-sobri%C3%A9t%C3%A9-num%C3%A9rique.pdf (дата обращения: 12.05.2020).
 13. Les chiffres clés de l'édition 2019 des «Key World Energy Statistics» de l'AIE // Connaissance des énergies. – 2019. – 01.10. – Mode of access: <https://www.connaissancesdesenergies.org/les-chiffres-cles-de-ledition-2019-des-key-world-energy-statistics-de-laie-191001> (дата обращения: 02.06.2020).
 14. Livre blanc Numérique et Environnement / Iddri, FING, WWF France, GreenIT.fr. – 2018. – 34 p. – Mode of access: https://www.wwf.fr/sites/default/files/doc-2018-03/180319_livre_blanc_numerique_environnement.pdf (дата обращения: 18.02.2020).
 15. Marquet K., Berthoud F., Combaz J. Introduction aux impacts environnementaux du numérique // Bulletin de la société informatique de France. – 2019. – N 13. – P. 85–97. – Mode of access: https://www.societe-informatique-de-france.fr/wp-content/uploads/2019/04/1024-numero-13_Article19.pdf (дата обращения: 01.06.2020).
 16. Nature Risk Rising / WEF in collaboration with PwC. – 2020. – 36 p. – Mode of access: http://www3.weforum.org/docs/WEF_New_Nature_Economy_Report_2020.pdf (дата обращения: 18.05.2020).

17. Patrizio A. IDC: Expect 175 zettabytes of data worldwide // NETWORKWORLD. – 2018. – 03.12. – Mode of access: <https://www.networkworld.com/article/3325397/idc-expect-175-zettabytes-of-data-worldwide-by-2025.html> (дата обращения: 14.05.2020).
18. Pouliquen F. Face cachée du numérique: Comment mesurer l'impact environnemental de nos activités sur la Toile? // 20 minute. – 2019. – 30.10. – Mode of access: <https://www.20minutes.fr/planete/2639603-20191030-face-cachee-numerique-comment-mesurer-impact-environnemental-activites-toile> (дата обращения: 13.05.2020).
19. Pour une sobriété numérique. Résumé aux décideurs // The Shift Project. – 2018. – Mode of access: https://theshiftproject.org/wp-content/uploads/2018/10/R%C3%A9sum%C3%A9-aux-d%C3%A9cideurs_Pour-une-sobri%C3%A9t%C3%A9-num%C3%A9rique_Rapport_The-Shift-Project.pdf (дата обращения: 14.05.2020).
20. Powering the Cloud: How China's Internet Industry Can Shift to Renewable Energy / Greenpeace East Asia, the North China Electric Power University. – 2019. – 12 p. – Mode of access: <http://www.indiaenvironmentportal.org.in/files/file/Powering%20the%20Cloud.pdf> (дата обращения: 22.08.2020).
21. Ravnigan de A. Les métaux rares mettent le monde sous tension // Alternatives Economiques. – P., 2020. – N 397. – Mode of access: <https://www.alternatives-economiques.fr/metaux-rares-mettent-monde-tension/00091351> (дата обращения: 10.05.2020).
22. Ravnigan de A., Delépine J. Il faut imposer des limites au numérique // Alternatives Economiques. – P., 2020. – N 397. – Mode of access: <https://www.alternatives-economiques.fr/faut-imposer-limites-numerique/00091342> (дата обращения: 10.05.2020).
23. Stolz Sh., Jungblut S.-I. Our Digital Carbon Footprint: What's the Environmental Impact of the Online World? // RESET. – 2019. – August. – Mode of access: <https://en.reset.org/knowledge/our-digital-carbon-footprint-whats-the-environmental-impact-online-world-12302019> (дата обращения: 22.05.2020).
24. TIC et le Développement durable: Rapport. – P., 2008. – 96 p. – Mode of access: <https://www.vie-publique.fr/sites/default/files/rapport/pdf/094000118.pdf> (дата обращения: 22.05.2020).
25. Trajectories of the Earth System in the Anthropocene / W. Steffen, J. Rockström, K. Richardson et al. // PNAS. – 2018. – August 14, Vol. 115, N 33. – P. 8252–8259. – Mode of access: <https://www.pnas.org/content/pnas/115/33/8252.full.pdf> (дата обращения: 10.02.2020).
26. Will Democracy Survive Big Data and Artificial Intelligence? / Helbing D. et al. // Scientific American. – 2017. – 25.02. – Mode of access: <https://www.scientific-american.com/article/will-democracy-survive-big-data-and-artificial-intelligence/> (дата обращения: 10.05.2020).