

---

---

# «ПЕРЕОСМЫСЛИВАЯ ПРЕДЕЛЫ». ДОКЛАД РОССИЙСКИХ УЧЕНЫХ РИМСКОМУ КЛУБУ

---

---

Л. Е. ГРИНИН, А. Л. ГРИНИН

## ВОЗМОЖНОСТИ И ОПАСНОСТИ ТЕХНОЛОГИЙ БУДУЩЕГО\*

*В данной статье рассматриваются текущее состояние и тренды будущего развития технологий в XXI столетии в рамках кибернетической революции – третьей из крупнейших производственных (или технологических) революций во всем историческом процессе после аграрной (12–5 тыс. лет назад) и индустриальной (XVIII–XIX вв.). Кибернетическая революция – это фундаментальный переход от индустриального принципа производства к производству услуг и товаров на базе широкого внедрения самоуправляемых систем, то есть систем, способных не просто функционировать в отсутствие (или при минимальном участии) людей, но и самостоятельно принимать сложные решения. Этот переход уже начался и будет продолжаться вплоть до 2070-х гг. Кибернетическая революция начала свое активное развитие в 1950-х гг. и сейчас завершила модернизационную фазу. На данный момент ключевыми технологиями являются ИКТ и искусственный интеллект (ИИ), роль которых в обществе постепенно возрастает, и они несут с собой как преимущества, так и потенциальные риски. Однако авторы предполагают, что с 2030-х гг. начнется новая – завершающая – фаза кибернетической революции. Ее основные технологические прорывы приведут к формированию и повсеместному внедрению самоуправляемых систем и на первый план выйдут новые технологии. По их прогнозам, это будет совокупность технологических сфер, названная МАНБРИК-комплекс/конвергенция. В настоящий момент она в основном сформировалась, и в завершающей фазе кибернетической революции (в 2030–2070-х гг.) будет активно разви-*

---

\* Исследование выполнено при поддержке Российского научного фонда (проект № 20-61-46004). Статья основана на главе доклада Римскому клубу «Переосмысливая пределы», представленного группой российских ученых (о докладе см.: Садовничий и др. 2022а; 2022б).

ваться. МАНБРИК – это аббревиатура, образованная от начальных букв семи ведущих областей: медицина, аддитивные, нано-, био-, робото-, инфо-, когнитивные технологии. В настоящее время данные технологические области тесно взаимодействуют и дополняют друг друга, и в будущем это станет происходить все чаще. В силу ряда особенностей медицина станет интегральной частью МАНБРИК-комплекса, объединяя его. Этому также будет способствовать усиливающийся процесс старения общества. В статье рассматриваются некоторые сценарии дальнейшего технологического развития. Они во многом зависят от того, в каких областях начнутся технологические прорывы. Основной сценарий развития представлен как прорыв, который произойдет в 2030-х гг. в области медицины, особенно на стыке ее новых направлений и некоторых областей МАНБРИК. Произойдет внедрение инноваций на основе самоуправляемых систем в различных областях социальной деятельности (экономика, медицина, биология, социально-административные структуры). Это приведет к очень значительным изменениям во всех сферах жизни.

**Ключевые слова:** инновации, технологии, кибернетическая революция, МАНБРИК-комплекс, медицина, биотехнологии, нанотехнологии, робототехника, когнитивные технологии, искусственный интеллект.

Стоит начать эту статью с утверждения, что, на наш взгляд, систематических исследований о будущем развитии технологий и их влияния на общество сейчас недостаточно<sup>1</sup>. Однако некоторые исследователи представляют интересные сценарии, а также есть несколько (хотя и слишком мало) работ, в которых даются последовательные прогнозы технологического развития на основе выявленных тенденций (Modis 1999; Fukuyama 2002; Martino 2003; Randers 2012; Рифкин 2015; Fuecks 2013; Farmer, Lafond 2015; Шваб 2022; von Weizsäcker, Wijkman 2018; Schwab, Malleret 2020). Однако эти сценарии и прогнозы зачастую весьма противоречивы. Авторов данных работ можно разделить на несколько категорий.

Первую можно назвать технологическими гипероптимистами или «техническими супероптимизаторами» (Eden *et al.* 2012: 127; см. также: Linstone 2014). Они считают, что развитие ИИ вскоре приведет к полному и радикальному изменению человека как биологи-

---

<sup>1</sup> Большинство исследований связано с прогнозами развития некоторых крупных областей, таких как био-, нано- и информационные технологии (см., например: Venkatesh *et al.* 2003; Pessoud 2016), или новых областей, таких как зеленая энергетика, наномедицина (Moghimi 2005), клонирование (Gurdon, Colman 1999) или нанороботы (Mallouk, Sen 2009).

ческого вида и человечества в целом (см., например: Yampolskiy, Fox 2012; Kurzweil 2004, 2005).

Вторую категорию составляют технологические пессимисты (см., например: Maddison 2007; Teulings, Baldwin 2014), которые считают, что в настоящее время мы имеем дело с замедлением научного прогресса (см. также: LePoire 2005; Phillips 2011; дискуссию Дж. Хёбнера и Т. Модиса о возможной тенденции к снижению мирового инновационного развития [Huebner 2005; Modis 2005]).

Третья категория – это пессимисты-алармисты, которые утверждают, что технический прогресс идет слишком быстро и это грозит человечеству катастрофами. К ним относятся многие авторы докладов Римскому клубу (см., например: Meadows *et al.* 1972, 2004; Wijkman, Rockström 2012; Bardi 2014).

Четвертая категория – это сбалансированные оптимисты и пессимисты, осознающие, что технический прогресс несет не только достижения, но и серьезные проблемы, с которыми человечество раньше не сталкивалось (см., например: Gabor *et al.* 1978; Schiaff, Friedrichs 1982; Pestel 1989; Рифкин 2015; Fuecks 2013; Шваб 2022; von Weizsäcker, Wijkman 2018; Lovins *et al.* 2018; Randers 2012; Randers *et al.* 2018; Berg 2019). Причем у разных исследователей разные пропорции оптимизма и пессимизма.

### **1. Современная ситуация**

В настоящий момент развитие технологий определяется продолжающейся кибернетической революцией. *Кибернетическая революция – это фундаментальный переход от индустриального принципа производства к производству услуг и товаров на базе широкого внедрения самоуправляемых систем, то есть систем, способных не просто функционировать в отсутствие (или при минимальном участии) людей, но и самостоятельно принимать сложные решения* (см.: Гринин 2006; Гринин Л. Е., Гринин А. Л. 2015а; 2015б; Grinin L. E., Grinin A. L. 2016; Grinin *et al.* 2017а; 2017б; 2020; 2021)<sup>2</sup>. Кибернетической данная революция названа потому, что в ее результате произойдут глубокие изменения не только в управлении производством, но и во всех других сферах жизни на ос-

---

<sup>2</sup> Следует отметить, что автоматизация, которая считалась основной характеристикой начала кибернетической революции [см., например: Lilley 1966, 1976; Philipson 1962; Vernal 1965; Venson, Lloyd 1983]), теперь видится лишь начальным уровнем будущих самоуправляемых систем.

нове широкого внедрения самоуправляемых систем. А кибернетика – это наука, занимающаяся такими системами. Наш анализ основывается на некоторых идеях из области, изучающей управление различными сложными регулируемыми системами (см., например: Wiener 1948; Ashby 1956; Beer 1959, 1994; von Foerster, Zopf 1962; Umpleby, Dent 1999; Теслер 2004; McClelland, Fararo 2006; Dupuy 2009; Wieser, Sluneko 2014)<sup>3</sup>.

Кибернетическая революция прошла начальную фазу (1950–1970-е гг.), в которой были сформированы информационные технологии<sup>4</sup>, и в настоящее время завершает прохождение средней – модернизационной – фазы (1980–2020-е гг.). Соответственно, наиболее важной частью развития технологий являются в настоящий момент информационно-цифровые технологии, которые выступают как составная часть большинства других технологических направлений. Эта диффузия информационно-цифровых и коммуникационных технологий в последнее время приобрела огромный масштаб за счет различных форм искусственного интеллекта (нейросетей, технологий дистанционного контакта, лингвистических систем, систем распознавания лиц, мониторинга геолокации и передвижений людей, определения предпочтений и мн. др.). Искусственный интеллект (ИИ) является и будет оставаться неотъемлемой частью многих самоуправляемых систем, подобно тому как электродвигатель яв-

---

<sup>3</sup> Существует множество работ и книг о грядущей революции, которую разные ученые обозначают разными терминами, но мы называем ее кибернетической революцией. Конечно, любой термин всегда условен, но он подчеркивает ведущие качества явления или процесса. В то же время простое перечисление третьей, четвертой или любой другой по счету промышленной революции неплототворно по отношению к принципиально новому явлению, которым являются нынешние и будущие волны технологических инноваций. В этом контексте можно упомянуть «Третью промышленную революцию» (Рифкин 2015) и «Четвертую промышленную революцию» (Шваб 2022). В этих книгах представлены интересные прогнозы, но их авторы просто исходят из эмпирических наблюдений за текущими тенденциями или воспроизводят чужие прогнозы, не опираясь на научно выведенную парадигму. Между тем прогнозы, основанные преимущественно на современных данных, значительно уступают тем, которые исходят из глубоких и долгосрочных тенденций и закономерностей. Из названий работ также можно сделать вывод, что эти авторы действительно считают, будто все три или четыре революции имеют схожую природу, но это совсем не так, поскольку природа каждой технологической революции уникальна.

<sup>4</sup> О начальной фазе кибернетической революции, которая получила название научно-технической, см., например: Bernal 1965; Philipson 1962; Benson, Lloyd 1983; Sylvester, Klotz 1983; Гринин Л. Е., Гринин А. Л. 2015а.

ляется неотъемлемой частью многих машин<sup>5</sup>. В последнее время ИИ все активнее влияет на социальные, контрольно-надзорные и даже административные отношения. В настоящий момент именно информационно-цифровые технологии демонстрируют наиболее яркие примеры развития самоуправляемых систем. Перспективы развития информационно-цифровых и коммуникационных технологий велики, однако представляется, что сами по себе они не способны обеспечить будущий технологический прорыв, а могут сделать это только в качестве неотъемлемой части других технологий (анализ различных аспектов ИИ см., например: *Abi Younes et al.* 2020; *Eden et al.* 2012; *Graglia, Von Huelsen* 2020; *Gregg* 2018; *Hengstler et al.* 2016; *Liu et al.* 2020; *Michalski et al.* 2013; *Montes, Goertzel* 2019; *Plebe, Perconti* 2020; *Russell et al.* 2003)<sup>6</sup>.

Среди наиболее перспективных технологий, которые в будущем могут стать ведущими: робототехника, а также являющиеся по сути роботами дроны и самоуправляемые автомобили. Динамично развиваются медицинские и биотехнологии, при этом последние – в нескольких направлениях: красные (фармацевтика и медицина), зеленые (связанные с сельским хозяйством и улучшением экологии) и белые. Последние являются основой процессов производства широкого ряда продуктов, получаемых в результате биокатализа и ферментации. Активно развиваются зеленая энергетика (солнечная, ветровая) и связанная с ней электротехническая промышленность. Однако, несмотря на огромные инвестиции, существуют довольно значительные технологические препятствия, преодоление которых, если это вообще возможно, может занять десятилетия. Углеродная энергетика дрейфует от более загрязняющих

---

<sup>5</sup> При этом такие системы можно будет усложнять или упрощать, то есть искусственный интеллект будет представлен в них в виде какой-то, образно говоря, блочной системы, которую можно будет собирать в «комплектации», требующейся для конкретной задачи. Так сегодня можно нарастить память у компьютера или усилить его видеокарту.

<sup>6</sup> Важно отметить, что благодаря такому быстрому развитию технологии искусственного интеллекта представляют собой главный вызов для человечества (*Eden et al.* 2012). С тех пор как об этом заговорили, коммуникационные технологии, технологии анализа данных и наблюдения продвинулись очень значительно, даже радикально. В результате проблема стала еще более актуальной. Анализ различных аспектов этой проблемы в настоящем и будущем уже посвящен целый ряд работ (см., например: *Westin* 1966; *Ashman et al.* 2014; *Cecere et al.* 2015; *Moustaka et al.* 2019; *Schwartz* 1999; *Solove* 2008; *Brammer et al.* 2020; *Alharbi* 2020).

видов топлива (угля и нефти) к менее загрязняющему виду – газу, при этом развитие технологий сжиженного газа и средств его доставки происходит динамично. Однако в последнее время в связи с энергетическим кризисом начался откат, в результате чего потребление угля вновь стало расти. Последние успехи в разработках управляемых термоядерных реакций дают надежду на прорыв в электроэнергетике в этом направлении. Но даже в самом оптимистичном случае термоядерная энергетика может заработать только во второй половине XXI столетия, возможно, в конце или после завершающей фазы кибернетической революции.

Несмотря на активное развитие в этих направлениях, в целом нынешняя фаза кибернетической революции по темпам технологического развития уступает ее начальной фазе (особенно периоду 1950–1970-х гг.), поэтому можно говорить о периоде замедления технологического процесса [см., например: Полтерович 2009; Grinin *et al.* 2020; Grinin, Korotayev 2015; см. также: Cowen, Southwood 2019]. Мы видим, что технологический процесс во многих направлениях, включая машиностроение и транспорт, энергетику, химическую, легкую и иную промышленность, а также многие, если не большинство видов услуг, не ускоряется, а скорее замедляется. Такая ситуация вполне объясняется (и прогнозируется) теорией производственных революций (см. ниже; см. также: Гринин Л. Е., Гринин А. Л. 2015а, 2015б).

## **2. Технологии как важнейший фактор исторического развития**

В целом вся история человечества, особенно за последние несколько веков, может рассматриваться (хотя и со значительными оговорками) как история научно-технических достижений [Kremer 1993; Galor, Tsiddon 1997; Kayal 1999; Galor, Weil 2000; Carree 2003; Phillips 2011; Гринин Л. Е., Гринин А. Л. 2015а; Grinin L. E., Grinin A. L. 2016; Grinin *et al.* 2017а, 2017б, 2020, 2021]. Согласно теории производственных революций, *кибернетическая* революция является третьей крупнейшей технологической революцией в истории после *аграрной* (12–5 тыс. лет назад) и *промышленной* (1430-е – 1830-е гг.)<sup>7</sup>. Эти революции радикально изменили производствен-

---

<sup>7</sup> Об аграрной или неолитической революции см., например: Childe 1934, 1944, 1948; Reed 1977; Harris, Hillman 1989; Гринин Л. Е., Гринин А. Л. 2015а; Grinin L. E., Grinin A. L. 2016; об индустриальной революции см., например: Cipolla

ные процессы, сформировали новые принципы производства (аграрно-ремесленный и торгово-промышленный соответственно), открыли невиданный простор для развития новых производительных сил, что в итоге полностью изменило человеческое общество и сам образ жизни. Производственные революции – это редкие, но повторяющиеся явления, которые имеют типологические сходства (Grinin 2007; Grinin L. E., Grinin A. L. 2016; Grinin *et al.* 2017a). В частности, они имеют сходную структуру и состоят из трех фаз. Начальная фаза формирует основы нового принципа производства, а также системы нового производства и их полный цикл. Модернизационная фаза значительно расширяет сферу применения нового принципа производства и совершенствует его технологии. Вот почему на современном этапе (то есть в модернизационной фазе кибернетической революции) мы наблюдаем указанное выше замедление технологического прогресса, то есть крупных инновационных прорывов, но видим мощное распространение все улучшающихся технологий, принципы которых были созданы на начальной фазе кибернетической революции в 1950–1990-х гг. Завершающая фаза производственной революции развивает новый принцип производства до полного раскрытия его потенциала, после чего принцип производства трансформируется в зрелые формы, радикально преобразовывая все отрасли хозяйства и сферы жизни.

Технологическое развитие является важнейшим фактором в истории человечества. Во многом именно благодаря развитию технологий, расширявших ресурсную базу и улучшавших условия жизни, численность населения Земли выросла со времени неолита в 10 000 раз. На протяжении всей истории человечества технологии непосредственным образом влияли на все сферы жизни: экономическую, социальную, политическую (о взаимосвязи исторического и технологического развития см. Приложение). В настоящее время это влияние еще более усилилось.

### **3. Сценарии технологического развития в XXI в.**

Происходящая кибернетическая революция определяет основной сценарий развития технологий в XXI в. В результате произойдут революционные изменения в планировании и управлении различными процессами в самых разных сферах жизни (от экономики

до быта, от медицины до административно-политических функций) на основе массового внедрения самоуправляемых систем (и соответственно, сильного снижения в управлении человеческого фактора). В результате произойдут *революционные изменения в управлении* как производством, так и другими сферами жизни на основе массового внедрения самоуправляемых систем. При этом такие системы будут развиваться как в технике, так и в биологии, медицине (включая роботов, нано- и биочипы, искусственные органы и т. д., а также контроль здоровья и старения, особенно последний), генной инженерии в медицине, биотехнологиях и сельском хозяйстве, в функционировании безотходного производства и самоочистки (в том числе с помощью биотехнологий и нанотехнологий). Эти системы распространятся также в социально-административных областях, регулируя некоторые отношения в обществе, особенно между административными, контролирующими, управляющими органами власти, с одной стороны, и людьми – с другой (такие самоуправляемые системы мы называем социально-техническими; подробнее о них см.: Grinin *et al.* 2021).

В этой связи следует подчеркнуть следующие два момента: 1) завершающая фаза кибернетической революции неизбежно увеличит скорость технологического прогресса; 2) независимо от того, в каких областях начнутся мощные технологические прорывы, они так или иначе приведут к формированию и широкому внедрению самоуправляемых систем.

Однако от того, в какой области начнется этот технологический прорыв и сформируются первые циклы деятельности на основе самоуправляемых систем, существенно зависят сценарии будущего развития. Основным сценарий развития представляется как прорыв в 2030-х гг. в области медицины, особенно на стыке ее новых направлений и таких отраслей, как био- и нанотехнологии, информационно-цифровые технологии, робототехника, а также аддитивные и когнитивные технологии. Все они очень активно используются в современной медицине, в том числе аддитивные технологии (то есть 3D-принтеры) – для создания искусственных органов и тканей, нанотехнологии – для изготовления вакцин и препаратов, роботы – для проведения операций; но в будущем связь всех указанных направлений с медициной заметно усилится. Соответственно, можно говорить о том, что складывается и будет активно развиваться в завершающей фазе кибернетической революции (в 2030–2070-е гг.) МАНБРИК-комплекс, или МАНБРИК-конвергенция. МАНБРИК –



аббревиатура, образованная от начальных букв семи ведущих областей: медицина, аддитивные, нано-, био-, робото-, инфо-, когнитивные технологии<sup>8</sup>. Эти технологические области тесно взаимодействуют и будут продолжать поддерживать друг друга<sup>9</sup>. Подробнее о развитии направлений МАНБРИК см. в Приложении; см. также: Гринин 2021; Гринин Л. Е., Гринин А. Л. 2021.

Среди исследователей, разумеется, существуют разные точки зрения в плане определения ведущих направлений развития грядущей технологической волны. Некоторые из них (см., например: Рифкин 2015; Fuecks 2013) предполагают, что это новая зеленая энергия, тогда как К. Шваб (2022) считает, что это будет комплекс ведущих сфер, но в первую очередь ИИ (здесь он не оригинален – см., например: Kurzweil 2004, 2005). Другие делают акцент на биотехнологическом развитии (Sylvester, Klotz 1983; Fukuyama 2002; Wilenius, Kurki 2012; Pessoud 2016; см. также: Nefiodow 1996, 2017). Также известна идея, связанная с понятием NBIC-технологии (или NBIC-конвергенции) (см.: Lynch 2004; Bainbridge, Roco 2005; Dator 2006; Ковальчук 2011). Основываясь на наших исследованиях, мы считаем, что именно МАНБРИК-конвергенция будет основой технологического развития в XXI столетии (Гринин Л. Е., Гринин А. Л. 2015a, 2015b; Grinin L., Grinin A. 2016; Grinin *et al.* 2017a, 2017b]. Центральным звеном в этом комплексе станет медицина как интегральное направление. Ее ведущая роль в завершающей фазе кибернетической революции (по крайней мере в 2030–2040/50-х гг.)<sup>10</sup> объясняется следующими факторами:

1) старением населения и вытекающими из этого следствиями: а) потребностью в дополнительной рабочей силе в развитых и части развивающихся стран; б) ростом пенсионной и иной социальной нагрузки на бюджеты и необходимостью повышения пенсионного возраста, которое требует от пожилых людей достаточно крепкого здоровья для продолжения трудовой деятельности;

---

<sup>8</sup> Порядок букв в аббревиатуре не отражает нашего понимания относительной важности областей комплекса. Например, биотехнологии будут важнее нанотехнологий, не говоря уже об аддитивном производстве. Порядок определяется просто удобством произношения.

<sup>9</sup> Это очень наглядно проявилось в период пандемии COVID-19. Примеры растущей взаимозависимости медицины, биотехнологий, информационных технологий, аддитивных технологий и нанотехнологий см.: Choong *et al.* 2020; Chauhan *et al.* 2020; Palestino *et al.* 2020; Tang *et al.* 2021; Weiss *et al.* 2020.

<sup>10</sup> Потом на передний план могут выйти другие направления.

2) ростом доходов и расширением среднего класса в развивающихся странах, что должно привести к увеличению расходов на культуру и здравоохранение;

3) все большей аккумуляцией средств в пенсионных и социальных фондах, которые в значительной степени должны использоваться именно для улучшения качества жизни пожилых людей, особенно медицины (подробнее об этих факторах см.: Гринин Л. Е., Гринин А. Л. 2015а, 2015б; Grinin L., Grinin A. 2016; Grinin *et al.* 2017a).

Все эти факторы действовали до 2020 г. и будут действовать и далее. Но с 2020 г. к ним добавилась пандемия (и опасность новых пандемий), которая сделала вопросы здоровья, медицины и особенно медицинских технологий предметом острой заинтересованности и конфронтации буквально всего общества, фактически перенесла этот обостренный интерес на мир-системный уровень. Пандемия коронавируса, таким образом, резко ускорила развитие медицины и биотехнологий, выдвинув их на передний план развития технологий и науки (см.: Grinin *et al.* 2021). Пандемия коронавируса, скорее всего, приближает начало завершающей фазы кибернетической революции, а вместе с этим, возможно, и начало повышательной фазы шестой длинной (кондратьевской) волны и, соответственно, шестого технологического уклада.

В результате медицинские технологии будут быстро развиваться под влиянием стареющего населения (Phillips 2011), и это расширит поиск возможностей для создания «умных», саморегулируемых и самоуправляемых систем, включая роботов, которые смогут в значительной степени заменить человеческий труд, особенно в сфере услуг (Frey, Osborne 2017), в том числе сложных (например, в области ухода за пожилыми людьми, образования, медицины и т. д.) (DeCanio 2016).

Обозначенное выше ускорение технологического развития будет наблюдаться (с возможными колебаниями) в течение завершающей фазы кибернетической революции и некоторое время после нее (то есть на протяжении целого ряда десятилетий, примерно до 2080-х гг.), поскольку новый научно-кибернетический принцип производства, обретя зрелые черты, будет активно распространяться, внедряя самоуправляемые системы во все новые сферы. Однако к концу XXI столетия и в начале следующего можно предполагать замедление темпов технологического развития, что будет связано с масштабным старением населения (см.: Grinin *et al.* 2020).

Однако сценарии развития технологий в XXI столетии могут зависеть от многих факторов. В частности, резкое обострение проблемы климата может привести к тому, что на первый план выйдут задачи перехода на новые энергетические источники, и это существенно изменит многие тенденции (к примеру, возможно бурное развитие самоуправляемых электромобилей). В настоящее время основное внимание европейских стран (а также США) направлено на развитие зеленой энергетики и резкое увеличение возможностей аккумуляции электроэнергии. Это тоже можно рассматривать как альтернативный сценарий будущего технологического развития (с сокращением углеродной энергетики). Однако мы считаем, что, во-первых, сама опасность резкого изменения климата преувеличена, а во-вторых, сильно преувеличивается роль антропогенных факторов в изменении климата. При этом мы полагаем, что именно переход к массовому внедрению самоуправляемых систем позволит во многом решить проблемы энергоэффективности и энергосбережения, а также другие важные технологические проблемы зеленой энергетики. Этот переход позволит создать систему утилизации CO<sub>2</sub>, твердого углерода и т. п., то есть существенно продвинуться по пути сокращения выбросов углерода. Но также можно рассматривать возможности перехода на принципиально новые источники энергии, к которым, в частности, относятся водородная энергетика и термоядерный синтез. Последний способен дать огромный источник дешевой энергии, но перспективы внедрения этих технологий пока неясны и не близки.

Другим альтернативным сценарием является тот, в соответствии с которым информационные и коммуникационные технологии (ИКТ) и ИИ по-прежнему будут ведущим направлением (большие надежды здесь возлагаются на так называемые квантовые компьютеры). Эта идея ведущей роли ИИ хорошо выражена в упомянутой книге о четвертой промышленной революции (Шваб 2022), но потенциал новых направлений, включая медицину и биотехнологии, здесь явно недооценен<sup>11</sup>.

Отметим еще один момент, который в будущем мог бы стать потенциально важным для обеспечения продовольствием растуще-

---

<sup>11</sup> Хотя надо отметить, что в своих последующих книгах К. Шваб уже говорит не только о компьютерных, но и о биотехнологических системах (киберфизических и кибербиологических, в его терминологии). Таким образом, стоит обратить внимание, что он также стал использовать для обозначения технологической революции понятие «кибернетическая».

го населения Земли, которое, по прогнозам ООН и других организаций, будет продолжать расти еще целый ряд десятилетий, а возможно, до конца столетия и даже позже (Alkema *et al.* 2011; Raftery *et al.* 2012; Подлазов 2017; Lutz *et al.* 2018; UN Population Division 2019, 2022; Korotayev 2020; Vollset *et al.* 2020; Wittgenstein Centre 2022). Здесь колоссальную роль могли бы сыграть «голубые» (то есть морские) биотехнологии. Речь идет о масштабном выращивании морепродуктов искусственным путем (так называемая *аквакультура*). В настоящее время это растущее направление, но пока играющее ограниченную роль. В принципе здесь может случиться (в связи с истощением запасов рыбы и морепродуктов в мировом океане) такой же переход, какой состоялся тысячи лет назад – от присваивающего хозяйства к производящему (аграрная революция). Уже сегодня объем производства аквакультуры приближается к 50 % мирового производства рыбы и морепродуктов и составляет десятки миллионов тонн. Но потенциально на морефермах можно производить в несколько раз больше продовольствия, причем белкового. С учетом огромных неосвоенных водных территорий и новых технологий переход от вылова к искусственному выращиванию может решить проблему обеспечения продовольствием растущего населения.

В целом мы можем сделать важный вывод, что кибернетическая революция, ее завершение и переход кибернетического принципа производства в зрелые фазы внедрит в нашу жизнь большое количество умных и самоуправляемых систем, которые смогут существенно продвинуть нашу экономику в направлении сокращения использования ресурсов, энергоэффективности, к тому, чтобы решить проблему дефицита рабочей силы и т. п. *Фактически открываются огромные возможности для экономии квалифицированного труда и ресурсов. Но, с другой стороны, в результате распространения самоуправляемых систем, созданных на основе передовых технологий искусственного интеллекта, резко возрастает опасность нарушения базовых прав человека, тотального контроля над их поведением, потреблением и пр. И здесь общество должно найти способы эффективного контроля многократно выросшей безликой и анонимной технологической власти, которая может подавлять и свободу, и инициативу, и возможности человека.*

В этой связи возникает вопрос: *как перейти к благоприятному сценарию развития технологий?* Необходимо ясное понимание: увеличение темпов технологического прогресса ведет к тому, что

остальные сферы развития неизбежно изменяются, деформируются. Следовательно, необходимы: а) прогнозирование и возможная пропедевтика негативных изменений; б) политические и законодательные механизмы, помимо развития научного объективного и практико-ориентированного подхода; в) комплексный, системный взгляд на проблемы для более выгодной канализации технологического развития. Последнее фактически затрагивает международную сферу. Попытки канализировать развитие технологического прогресса предпринимаются давно; особенно наглядно это проявляется в военной сфере, а также (в последние десятилетия) в зеленой энергетике. Тем не менее здесь многое нужно институционализировать (включая экспертократию, сочетание частного и общественного интересов, оптимизацию роста, учет того, что скорость развития разных стран может сильно различаться в тех или иных отношениях). Примеров этому много. В целом есть потребность канализировать развитие производительных сил в сторону более бережного отношения к природе, рассматривать охрану окружающей среды как важнейшую часть развития технологий. К примеру, морефермы, о которых говорится в докладе Римскому клубу «Come On» (Weizsäcker, Wijkman 2018), – путь к сохранению биоразнообразия в океане.

Таким образом, технологии – это важнейшая составляющая общественной системы, во многом определяющая характер и направленность изменений во всех сферах жизни общества.

## **ПРИЛОЖЕНИЕ**

### **Об отдельных технологиях МАНБРИК-комплекса**

Развитие этого комплекса, как мы уже говорили, будет вести к интегральности, взаимодействию и синергетическим эффектам во многих системах. Но стоит указать и направления по отдельности. О развитии ИКТ и искусственного интеллекта мы также говорили выше.

**Медицина.** Напомним, что медицина будет центральным и интегральным звеном МАНБРИК-комплекса. При этом в связи с развитием процесса старения медицина будет все заметнее сдвигаться в область геронтологии, борьбы с болезнями старости, замедления старения и технологий омоложения.

Вместе с медициной будут активно развиваться и смежные с ней области: биотехнологии и генетика, нанотехнологии, робототехни-

ка (применяемая ныне в хирургии, но в дальнейшем она найдет свое развитие во многих направлениях медицины, а также в уходе за больными), когнитивные технологии (способные частично компенсировать физические недостатки инвалидов и престарелых). Общий вектор прорыва можно обозначить как стремительный рост возможностей коррекции или даже модификации биологической природы самого человека. Иными словами, удастся увеличить нашу способность вмешиваться в человеческий организм (возможно, в какой-то мере в его геном); резко расширить возможности точечных влияний и операций вместо современных хирургических; широко использовать культуру выращивания отдельных биологических тканей, органов или их частей и элементов для использования в регенерации и реабилитации организма, а также создания небιологических аналогов биологической ткани (органов, рецепторов) и т. п. Здесь станут незаменимыми аддитивные технологии.

В результате можно добиться радикального расширения возможностей продления жизни и улучшения ее биологического качества. Разумеется, от первых шагов в этом направлении (в 2040-е гг.) до широкого применения пройдет достаточно много времени – примерно два-три десятилетия.

**Биотехнологии и нанотехнологии.** Биотехнологии динамично развиваются уже в течение ряда десятилетий. Некоторые исследователи даже писали о биотехнологической революции как основе будущих радикальных изменений (см., например: Фукуяма 2004; Рессуд 2016). При этом они развиваются в нескольких направлениях: «красные» (фармацевтика и медицина), «зеленые» (связанные с сельским хозяйством и улучшением экологии) и «белые» биотехнологии. Последние положены в основу процессов производства широкого ряда продуктов, получаемых в результате биокатализа и ферментации. Биотехнологии являются важнейшей частью фармакологии, генной инженерии, также возрастает их роль в обеспечении увеличивающегося населения Земли продовольствием. Они помогут не только в плане повышения урожайности, борьбы с вредителями и т. п., но и в плане масштабного разведения морепродуктов искусственным путем (так называемая аквакультура, о которой сказано выше). Ведь в отличие от суши, где почти не осталось пригодных для сельского хозяйства земель, водные территории практически не освоены. Словом, как мы уже упоминали, переход от вылова к искусственному выращиванию может решить вопрос о продовольствии для растущего населения.

Мы также полагаем, что биотехнологии вместе с нанотехнологиями сыграют (и уже играют) важную роль в функционировании безотходного производства и самоочистке сточных вод, водоемов и др.

В 2000-х гг. было много прогнозов о скором прорыве нанотехнологий, однако последние пока не играют важной роли. Мы полагаем, что взлет нанотехнологий произойдет не ранее 2050-х гг. В принципе эти технологии позволят работать на молекулярном и даже атомном уровне. Это даст возможность создавать огромное количество новых материалов с особыми свойствами и позволит внедрить самоуправляемость во множество систем, включая физиологические, а также существенно продвинуться в плане экономии энергии и ресурсов. В настоящий момент стоит указать на растущую роль нанотехнологий как части медицинских и биотехнологий, в частности в производстве вакцин.

**Робототехника** будет, разумеется, развиваться не только в медицине, хотя, возможно, роботы-няньки и сиделки будут наиболее распространенным ее типом. Мы полагаем, что получат массовое распространение роботы, которые заменят людей в сфере обслуживания, в том числе в общепите, гостиницах, клининговых компаниях и т. п. Также распространятся дроны (в том числе и для доставки товаров) и самоуправляемые автомобили. Развитие робототехники может происходить в значительной мере за счет того, что роботы станут все более востребованными в военных целях (и, вероятно, также в космосе и на опасных производствах). Военные технологии во все времена прокладывали путь для инноваций. Все более умными и распространенными будут становиться боевые роботы, роботы-спасатели (саперы и т. п.), беспилотные передвижные средства и пр.

**Аддитивные технологии (3D-принтеры)** – это новая универсальная технология, которая позволяет с помощью особых устройств и различных материалов создавать самые разные объекты. Эти объекты формируются путем последовательного наращивания слоев материала согласно компьютерной трехмерной модели объекта (этот процесс часто, но не совсем верно называют печатанием, однако фактически это именно наращивание). Такие технологии используются в металлургии и строительстве, машиностроении (для создания деталей), в домашних условиях и мастерских, в музеях (для «печати» копий уникальных экспонатов), в медицине (для создания аналогов тканей, хрящей и костей, органов и т. д.). По нашему мнению, в медицине они окажутся особенно востребованными.

ми. Мы полагаем, что массовое распространение таких технологий произойдет в 2040–2050-е гг.; они позволят резко расширить создание небольших партий и наладить мелкосерийное производство, которое сегодня часто бывает невыгодным. При этом подобные технологии могут совмещаться с другими, например роботами. Ученые из Университета Осло в Норвегии с помощью 3D-печати создали самообучающихся роботов, которые имеют 3D-принтеры и способны чинить свои или чужие поломки, создавая нужную деталь (Есакова 2014).

**Когнитивные технологии.** Одним из наиболее прорывных направлений когнитивной науки и в целом кибернетической революции могут стать нейроинтерфейсы, или интерфейсы «мозг – компьютер». Это технологии, создающие взаимодействие между нервной системой человека и внешними устройствами. Принципиальным достижением когнитивных наук является возможность управления искусственными органами с помощью сигналов мозга, как это делают здоровые люди. Данная инновация позволяет надеяться, что со временем многие миллионы инвалидов с помощью таких устройств смогут в значительной мере компенсировать свои физические ограничения, освободив множество людей от необходимости помогать им. Вероятно, нейроинтерфейсы в будущем могут применяться не только в медицине, но и в повседневных занятиях.

В целом достижения когнитивистики уже используются и в еще большей степени станут использоваться в будущем в различных областях, движущихся в сторону самоуправляемых систем, – от медицины до робототехники. Однако на пути развития этого направления стоят серьезные технические и социальные, а также моральные трудности. Поэтому мы полагаем, что когнитивные технологии активно проявят себя на поздних этапах кибернетической революции. Стоит добавить, что секретные службы активно изучают возможности когнитивных технологий, чтобы использовать их в своих целях, и здесь тоже таятся проблемы.

#### *Литература*

- Гринин, Л. Е.**  
2006. *Производительные силы и исторический процесс*. 3-е изд. М.: URSS. 272 с.



2021. Пятый технологический уклад. В: Гринин, Л. Е., Коротаев, А. В. (отв. ред.), *Кондратьевские волны: технологические и экономические аспекты*. Волгоград: Учитель. С. 188–199.

**Гринин, Л. Е., Гринин, А. Л.**

2015а. Кибернетическая революция и шестой технологический уклад. *Историческая психология и социология истории* 8(1): 172–197.

2015б. *От рубил до нанороботов. Мир на пути к эпохе самоуправляемых систем (история технологий и описание их будущего)*. М.: Моск. ред. изд-ва «Учитель». 424 с.

2021. Шестой технологический уклад. В: Гринин, Л. Е., Коротаев, А. В. (отв. ред.), *Кондратьевские волны: технологические и экономические аспекты*. Волгоград: Учитель. С. 200–216.

**Есакова, П.** 2014. В Норвегии распечатали самообучающихся роботов. *Look at Me* 13 ноября. URL: <http://www.lookatme.ru/mag/live/experience-news/209343-3d-robot>.

**Ковальчук, М. В.** 2011. Конвергенция наук и технологий – прорыв в будущее. *Российские нанотехнологии* 3: 134–158.

**Подлазов, А. А.** 2017. Теория глобального демографического процесса. *Вестник Российской академии наук* 87(3): 256–266. DOI: 10.1134/S1019331617030054.

**Полтерович, В.** 2009. Гипотеза об инновационной паузе и стратегия модернизации. *Вопросы экономики* 6: 4–23.

**Рифкин, Дж.** 2015. *Третья промышленная революция. Как горизонтальные взаимодействия меняют энергетику, экономику и мир*. М.: Альпина нон-фикшн. 410 с.

**Садовничий, В. А., Акаев, А. А., Ильин, И. В., Малков, С. Ю., Гринин, Л. Е., Коротаев, А. В.**

2022а. С надеждой на будущее: наш взгляд на проблемы, пределы и возможности. *История и современность* 2: 109–123.

2022б. Тренды развития Мир-Системы с позиции макроисторического подхода: краткий анализ. *История и современность* 2: 124–138.

**Теслер, Г. С.** 2004. *Новая кибернетика*. М.: Логос. 404 с.

**Фукуяма, Ф.** 2004. *Наше постчеловеческое будущее: Последствия биотехнологической революции*. М.: АСТ. 352 с.

**Шваб, К.** 2022. *Четвертая промышленная революция*. М.: Эксмо. 230 с.

**Abi Younes, G., Ayoubi, C., Ballester, O., Cristelli, G., de Rassenfosse, G., Foray, D. et al.** 2020. COVID-19: Insights from Innovation Economists. *Science and Public Policy* 47(5): 733–745. DOI: 10.1093/scipol/scaa028.

**Alharbi, F. S.** 2020. Dealing with Data Breaches Amidst Changes in Technology. *International Journal of Computer Science and Security (IJCSS)* 14(3): 108–115.

**Alkema, L., Raftery, A. E., Gerland, P., Clark, S. J., Pelletier, F., Buettner, T., Heilig, G. K.** 2011. Probabilistic Projections of the Total Fertility Rate for All Countries. *Demography* 48(3): 815–839. DOI: 10.1007/s13524-011-0040-5.

**Allen, R. C.**

2009. *The British Industrial Revolution in Global Perspective*. Cambridge: Cambridge University Press. 26 pp.

2011. *Global Economic History: A Very Short Introduction*. Oxford: Oxford University Press. 192 pp.

**Ashby, R.** 1956. *An Introduction to Cybernetics*. London: Chapman and Hall. 306 pp.

**Ashman, H., Brailsford, T., Cristea, A. I., Sheng, Q. Z., Stewart, C., Toms, E. G., Wade, V.** 2014. The Ethical and Social Implications of Personalization Technologies for E-learning. *Information & Management* 51(6): 819–832. DOI: 10.1016/j.im.2014.04.003.

**Bainbridge, W. S., Roco, M.** 2005. *Managing Nano-Bio-Info-Cogno Innovations: Converging Technologies in Society*. Berlin; Heidelberg: Springer. 384 pp.

**Bardi, U.** 2014. *Extracted: How the Quest for Mineral Wealth is Plundering the Planet*. White River Junction, VT: Chelsea Green Publishing. 368 pp.

**Beer, S.**

1959. *Cybernetics and Management*. London: English Universities Press. 214 pp.

1994. *Decision and Control: The Meaning of Operational Research and Management Cybernetics*. London: John Wiley & Sons. 568 pp.

**Benson, I., Lloyd, J.** 1983. *New Technology and Industrial Change: The Impact of the Scientific-Technical Revolution on Labour and Industry*. London; New York: Kogan Page. 224 pp.

**Berg, C.** 2019. *Sustainable Action: Overcoming the Barriers. A Report to the Club of Rome*. New York: Routledge. 318 pp.

**Bernal, J. D.** 1965. *Science in History*. 3<sup>rd</sup> ed. New York: Hawthorn Books. 348 pp.

**Brammer, S., Branicki, L., Linnenluecke, M.** 2020. COVID-19, Societalization and the Future of Business in Society. *Science of the Total Environment* 34(4): 2–7. DOI: 10.5465/amp.2019.0053.

**Carree, M. A.** 2003. Technological Progress, Structural Change and Productivity Growth: A Comment. *Structural Change and Economic Dynamics* 14(1): 109–115.

**Cecere, G., Le Guel, F., Soulié, N.** 2015. Perceived Internet Privacy Concerns on Social Networks in Europe. *Technological Forecasting and Social Change* 96: 277–287. DOI: 10.1016/j.techfore.2015.01.021.

**Chauhan, G., Madou, M. J., Kalra, S., Chopra, V., Ghosh, D., Martinez-Chapa, S. O.** 2020. Nanotechnology for COVID-19: Therapeutics and Vaccine Research. *ACS Nano* 14(7): 7760–7782. DOI: 10.1021/acsnano.0c04006.

**Childe, V. G.**

1934. *New Light on the Most Ancient East*. New York; London: Routledge & Kegan. 280 pp.

1944. *Progress and Archaeology*. London: Watts. 119 pp.

1948. *What Happened in History*. New York: Penguin Books. 100 pp.

**Choong, Y. Y. C., Tan, H. W., Patel, D. C., Choong, W. T. N., Chen, C.-H., Low, H. Y. et al.** 2020. The Global Rise of 3D Printing During the COVID-19 Pandemic. *Nature Reviews Materials* 5(9): 637–639. DOI: 10.1038/s41578-020-00234-3.

**Cipolla, C. M. (ed.)**. 1976. *The Industrial Revolution, 1700–1914*. London; New York: Harvester Press. 624 pp.

**Cowen, T., Southwood, B.** 2019. Is the Rate of Scientific Progress Slowing Down? *George Mason University Department of Economics Working Paper* No. 21–13. URL: file:///C:/Users/ADM/Downloads/SSRN-id3822691.pdf.

**Dator, J.** 2006. Alternative Futures for K-Waves. In Devezas, T. C. (ed.), *Kondratieff Waves, Warfare and World Security*. Amsterdam: IOS Press. Pp. 311–317.

**DeCanio, S. J.** 2016. Robots and Humans – Complements or Substitutes? *Journal of Macroeconomics* 49: 280–291.

**Dupuy, J.** 2009. *On the Origins of Cognitive Science. The Mechanization of the Mind*. Princeton, NJ: MIT Press. 210 pp.

**Eden, A. H., Moor, J. H., Søraker, J. H., Steinhart, E. (eds.)**. 2012. *Singularity Hypotheses: A Scientific and Philosophical Assessment*. Berlin: Springer. DOI: 10.1007/978-3-642-32560-1.

**Farmer, J. D., Lafond, F.** 2015. *How Predictable is Technological Progress?* URL: <http://arxiv.org/abs/1502.05274>.

**Foerster, H. von, Zopf, G. W.** 1962. Principles of Self-Organization. In Yovits, M. C., Cameron, S. (eds.), *Self-Organization*. New York: Pergamon Press. Pp. 31–50.

**Frey, C. B., Osborne, M. A.** 2017. The Future of Employment: How Susceptible are Jobs to Computerisation? *Technological Forecasting and Social Change* 114: 254–280.

**Fuecks, R.** 2013. *Intelligent Wachsen. Die grüne Revolution*. Munich: Carl Hanser Verlag. 362 S.

**Fukuyama, F.** 2002. *Our Post-Human Future: Consequences of the Biotechnology Revolution*. New York: Farrar, Straus, and Giroux. 272 pp.

**Gabor, D., Colombo, U., King, A., Galli, R.** 1978. *Beyond the Age of Waste*. Oxford; New York; Toronto; Sydney; Paris; Frankfurt: Pergamon Press. 237 pp.

**Galor, O., Tsiddon, D.** 1997. Technological Progress, Mobility and Economic Growth. *The American Economic Review* 87(3): 363–382.

**Galor, O., Weil, D. N.** 2000. Population, Technology, and Growth: From Malthusian Stagnation to the Demographic Transition and Beyond. *American Economic Review* 90(4): 806–828.

**Graglia, M. A. V., Von Huelsen, P. G.** 2020. The Sixth Wave Of Innovation: Artificial Intelligence And The Impacts On Employment. *Journal on Innovation and Sustainability RISUS* 11(1): 3–17. DOI: 10.23925/2179-3565.2020v11i1p3-17.

**Gregg, B.** 2018. The Coming Political: Challenges of Artificial Intelligence. *Digital Culture & Society* 4(1): 157–180. DOI: 10.25969/mediarep/13530.

**Grinin, L.** 2007. Production Revolutions and Periodization of History: A Comparative and Theoretic-mathematical Approach. *Social Evolution & History* 6(2): 11–55.

**Grinin, L. E., Grinin, A. L.** 2016. *The Cybernetic Revolution and the Forthcoming Epoch of Self-regulating Systems*. Moscow: Moscow branch of 'Uchitel' Publishing House. 216 pp.

**Grinin, L., Grinin, A., Korotayev, A.**

2017a. Forthcoming Kondratieff Wave, Cybernetic Revolution, and Global Ageing. *Technological Forecasting and Social Change* 115: 52–68. DOI: 10.1016/j.techfore.2016.09.017.

2017b. The MANBRIC-technologies in the Forthcoming Technological Revolution. In Devezas, T., Leitão, J., Sarygulov, A. (eds.), *Industry 4.0 – Entrepreneurship and Structural Change in the New Digital Landscape: What is Coming on Along with the Fourth Industrial Revolution*. Heidelberg: Springer. Pp. 243–261.

2020. A Quantitative Analysis of Worldwide Long-term Technology Growth: From 40,000 BCE to the Early 22<sup>nd</sup> Century. *Technological Forecasting and Social Change* 155: 1–19. DOI: 10.1016/j.techfore.2020.119955.

2021. COVID-19 Pandemic as a Trigger for the Acceleration of the Cybernetic Revolution, Transition from E-Government to E-State, and Change in Social Relations. *Technological Forecasting & Social Change* 175: 1–16. DOI: 10.1016/j.techfore.2021.121348.

**Grinin, L., Korotayev, A.** 2015. *Great Divergence and Great Convergence. A Global Perspective*. Cham; Heidelberg; New York; Dordrecht; London: Springer. 251 pp.

**Gurdon, J. B., Colman, A.** 1999. The Future of Cloning. *Nature* 402 (6763): 743–746.

**Harris, D., Hillman, G. (eds.)**. 1989. *An Evolutionary Continuum of People – Plant Interaction. Foraging and Farming. The Evolution of Plant Exploitation*. London: Unwin Hyman. 766 pp.

**Hengstler, M., Enkel, E., Duelli, S.** 2016. Applied Artificial Intelligence and Trust – the Case of Autonomous Vehicles and Medical Assistance Devices. *Technological Forecasting and Social Change* 105: 105–120. DOI: 10.1016/j.techfore.2015.12.014.

**Huebner, J.** 2005. A Possible Declining Trend for Worldwide Innovation. *Technological Forecasting and Social Change* 72: 980–986.

**Kayal, A.** 1999. Measuring the Pace of Technological Progress: Implications for Technological Forecasting. *Technological Forecasting and Social Change* 60(3): 237–245.

**Korotayev, A.** 2020. The 21<sup>st</sup> Century Singularity in the Big History Perspective. A Re-analysis. In Korotayev, A., LePoire, D. (eds.), *The 21<sup>st</sup> Century Singularity and Global Futures. A Big History Perspective*. Cham: Springer. Pp. 19–75. DOI: 10.1007/978-3-030-33730-8\_2.

**Kremer, M.** 1993. Population Growth and Technological Change: One Million B.C. to 1990. *The Quarterly Journal of Economics* 108(3): 681–716. DOI: 10.2307/2118405.

**Kurzweil, R.**

2004. The Law of Accelerating Returns. In Teuscher, Ch. (ed.), *Alan Turing: Life and Legacy of a Great Thinker*. Berlin; Heidelberg: Springer. Pp. 381–416.

2005. *The Singularity is Near: When Humans Transcend Biology*. New York: Penguin. 672 pp.

**LePoire, D. J.** 2005. Application of Logistic Analysis to the History of Physics. *Technological Forecasting and Social Change* 72(4): 471–479. DOI: 10.1016/S0040-1625(03)00044-1.

**Lilley, S.**

1966. *Men, Machines and History: The Story of Tools and Machines in Relation to Social Progress*. New York: International Publishers. 352 pp.

1976. Technological Progress and the Industrial Revolution, 1700–1914. *The Industrial Revolution, 1700–1914 (The Fontana Economic History of Europe)*. New York: The Harvest Press. Pp. 187–254.

**Linstone, H.** 2014. Review of: Singularity Hypotheses: A Scientific and Philosophical Assessment, Amnon H. Eden, James H. Moor, Johnny H. Søraker, Eric Steinhart (Eds.), Springer Verlag (2012). *Technological Forecasting and Social Change* 82: 226–227. DOI: 10.1016/j.techfore.2013.06.011.

**Liu, J., Chang, H., Forrest, J. Y.-L., Yang, B.** 2020. Influence of Artificial Intelligence on Technological Innovation: Evidence from the Panel Data of China's Manufacturing Sectors. *Technological Forecasting and Social Change* 158: 1–12. DOI: 10.1016/j.techfore.2020.120142.

**Lovins, L. H., Wallis, S., Wijkman, A., Fullerton, J.** 2018. *A Finer Future. Creating an Economy in Service to Life*. Gabriola, BC: New Society Publishers. 416 pp.

**Lutz, W., Goujon, A., KC, S., Stonawski, M., Stilianakis, N.** 2018. *Demographic and Human Capital Scenarios for the 21<sup>st</sup> Century: 2018 Assessment for 201 Countries*. Luxembourg: Publications Office of the European Union. 598 pp.

**Lynch, Z.** 2004. Neurotechnology and Society 2010–2060. *Annals of the New York Academy of Sciences* 1031: 229–233.

**Maddison, A.** 2007. *Contours of the World Economy. 1–2030*. Oxford: Oxford University Press. 432 pp.

**Mallouk, T. E., Sen, A.** 2009. Powering Nanorobots. *Scientific American* 300(5): 72–77.

**Martino, J. P.** 2003. A Review of Selected Recent Advances in Technological Forecasting. *Technological Forecasting and Social Change* 70(8): 719–733.

**McClelland, K. A., Fararo, Th. J. (eds.)** 2006. *Purpose, Meaning, and Action: Control Systems Theories in Sociology*. New York: Palgrave Macmillan. 344 pp.

**Meadows, D. H., Meadows, D. L., Randers, J., Behrens III, W. W.** 1972. *The Limits to Growth: A Report for the Club of Rome's Project on the Predicament of Mankind*. Washington, D.C.: Universe Books. 205 pp.

**Meadows, D., Randers, J., Meadows, D.** 2004. *Limits to Growth: The 30-Year Update*. London; Sterling, VA: Earthscan. 363 pp.

**Michalski, R. S., Carbonell, J. G., Mitchell, T. M.** 2013. *Machine Learning. An Artificial Intelligence Approach*. Berlin; Heidelberg; New York; Tokyo: Springer. 572 pp.

**Modis, T.**

1999. Technological Forecasting at the Stock Market. *Technological Forecasting and Social Change* 62(3): 173–202.

2005. Discussion of Huebner Article. *Technological Forecasting and Social Change* 72: 987–1000.

**Moghimi, S. M.** 2005. Nanomedicine: Current Status and Future Prospects. *The FASEB Journal* 19(3): 311–330. DOI: 10.1096/fj.04-2747rev.

**Montes, G. A., Goertzel, B.** 2019. Distributed, Decentralized, and Democratized Artificial Intelligence. *Technological Forecasting and Social Change* 141: 354–358. DOI: 10.1016/j.techfore.2018.11.010.

**Moustaka, V., Theodosiou, Z., Vakali, A., Kounoudes, A., Anthopoulos, L. G.** 2019. Enhancing Social Networking in Smart Cities: Privacy and Security Borderlines. *Technological Forecasting and Social Change* 142: 285–300. DOI: 10.1016/j.techfore.2018.10.026.

**Nefiodow, L.**

1996. *Der sechste Kondratieff. Wege zur Produktivität und Vollbeschäftigung im Zeitalter der Information.* Sankt Augustin: Rhein-Sieg-Verlag. 272 S.

2017. *The Sixth Kondratieff: A New Long Wave in the Global Economy.* Scotts Valley, CA: CreateSpace.

**Palestino, G., Garcia-Silva, I., González-Ortega, O., Rosales-Mendoza, S.** 2020. Can Nanotechnology Help in the Fight against COVID-19? *Expert Review of Anti-infective Therapy* 18(9): 849–864. DOI: 10.1080/14787210.2020.1776115.

**Peccoud, J.** 2016. Synthetic Biology: Fostering the Cyber-biological Revolution. *Synthetic Biology* 1(1): 1–7.

**Pestel, E.** 1989. *Beyond the Limit to Growth: a Report to the Club of Rome.* URL: <http://www.comitatoscientifico.org/temiSD/oltreilpil/docs/PESTELThe Limits to Growth.pdf>.

**Phillips, F.** 2011. The State of Technological and Social Change: Impressions. *Technological Forecasting and Social Change* 78(6): 1072–1078. DOI: 10.1016/j.techfore.2011.03.020.

**Philipson, M. (ed.).** 1962. *Automation: Implications for the Future.* New York: Vintage Books. 456 pp.

**Plebe, A., Perconti, P.** 2020. Plurality: The End of Singularity? In Korotayev, A. V., LePoire, D. J. (eds.), *The 21<sup>st</sup> Century Singularity and Global Futures.* N. p.: Springer. Pp. 163–184. DOI: 10.1007/978-3-030-33730-8\_8.

**Raftery, A. E., Li, N., Ševčíková, H., Gerland, P., Heilig, G. K.** 2012. Bayesian Probabilistic Population Projections for All Countries. *Proceedings of*

*the National Academy of Sciences* 109(35): 13915–13921. DOI: 10.1073/pnas.1211452109.

**Randers, J.** 2012. *2052: A Global Forecast for the Next Forty Years*. White River Junction, VT: Chelsea Green Publishing. 8 pp.

**Randers, J., Rockström, J., Stoknes, P. E., Golüke, U., Collste, D., Cornell, S.** 2018. *Transformation is Feasible*. Stockholm: Stockholm Resilience Centre.

**Reed, Ch. A. (ed.)**. 1977. *The Origins of Agriculture*. Mouton. 1013 pp.

**Russell, S. J., Norvig, P., Canny, J. F., Malik, J. M., Edwards, D. D.** 2003. *Artificial Intelligence: a Modern Approach*. Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall Upper. 1151 pp.

**Schwab, K., Malleret, T.** 2020. *COVID-19: The Great Reset*. Geneva: World Economic Forum. 280 pp.

**Schwartz, P. M.** 1999. Internet Privacy and the State. *Connecticut Law Review* 32: 815–829.

**Scliaff, A., Friedrichs, G.** 1982. *Microelectronics and Society: for Better or for Worse. A Report to The Club of Rome*. New York: Pergamon Press.

**Solove, D. J.** 2008. *Understanding Privacy*. Harvard: Harvard University Press. 257 pp.

**Sylvester, E., Klotz, L. C.** 1983. *The Gene Age: Genetic Engineering and the Next Industrial Revolution*. London: Scribner. 208 pp.

**Tang, Z., Zhang, X., Shu, Y., Guo, M., Zhang, H., Tao, W.** 2021. Insights from Nanotechnology in COVID-19 Treatment. *Nano Today* 36: 1–9. DOI: 10.1016/j.nantod.2020.101019.

**Teulings, C., Baldwin, R. (eds.)**. 2014. *Secular Stagnation: Facts, Causes, and Cures*. London: CEPR. 179 pp.

**Umpleby, S. A., Dent, E. B.** 1999. The Origins and Purposes of Several Traditions in Systems Theory and Cybernetics. *Cybernetics and Systems* 30: 79–103.

#### **UN Population Division**

2019. World Population Prospects 2019. URL: <https://www.un.org/development/desa/pd/news/world-population-prospects-2019-0>.

2022. United Nations Population Division Database. URL: <http://www.un.org/esa/population>.

**Venkatesh, V., Morris, M. G., Davis, G. B., Davis, F. D.** 2003. User Acceptance of Information Technology: Toward a Unified View. *MIS Quarterly* 27(3): 425–478.

**Vollset, S. E., Goren, E., Yuan, C.-W., Cao, J., Smith, A. E., Hsiao, T. et al.** 2020. Fertility, Mortality, Migration, and Population Scenarios for



195 Countries and Territories from 2017 to 2100: a Forecasting Analysis for the Global Burden of Disease Study. *The Lancet* 396(10258): 1285–1306. DOI: 10.1016/S0140-6736(20)30677-2.

**Weiss, C., Carriere, M., Fusco, L., Capua, I., Regla-Nava, J. A., Pasquali, M. et al.** 2020. Toward Nanotechnology-enabled Approaches against the COVID-19 Pandemic. *ACS Nano* 14(6): 6383–6406. DOI: 10.1021/acsnano.0c03697.

**Weizsäcker, E. U. von, Wijkman, A.** 2018. *Come on! Capitalism, Short-termism, Population and the Destruction of the Planet. A Report to the Club of Rome.* N. p.: Springer. 234 pp. DOI: 10.1007/978-1-4939-7419-1.

**Westin, A. F.** 1966. Science, Privacy, and Freedom: Issues and Proposals for the 1970's. Part I. The Current Impact of Surveillance on Privacy. *Columbia Law Review* 66(6): 1003–1050.

**Wiener, N.** 1948. *Cybernetics, or Control and Communication in the Animal and the Machine.* Cambridge: MIT Press. 231 pp.

**Wieser, M., Slunecko, T.** 2014. Cybernetics, Radical Behaviorism, Cultural Psychology, Cultural-historical Psychology. In Teo, T. (ed.), *Encyclopedia of Critical Psychology.* New York: Springer.

**Wijkman, A., Rockström, J.** 2012. *Bankrupting Nature.* New York: Routledge. 224 pp.

**Wilenius, M., Kurki, S.** 2012. *Surfing the Sixth Wave: Exploring the Next 40 Years of Global Change.* Turku: Finland Futures Research Center. 127 pp.

**Wittgenstein Centre.** 2022. Wittgenstein Centre Human Capital Data Explorer. URL: <http://dataexplorer.wittgensteincentre.org/wcde-v2/>.

**Yampolskiy, R. V., Fox, J.** 2012. Artificial General Intelligence and the Human Mental Model. In Eden, A. H., Moor, J. H., Søraker, J. H., Steinhart, E. (eds.), *Singularity Hypotheses: A Scientific and Philosophical Assessment.* Berlin, Heidelberg: Springer. Pp. 129–145. DOI: 10.1007/978-3-642-32560-1\_7.