

Обеспечение достойной жизни при минимальных затратах энергии: глобальный сценарий

Переводчики:

Черепанова Маргарита Игнатьевна, активист экологического комитета студсовета СПбГУ <https://vk.com/puma163>

Иризаева Дарья Владиславовна, активист ReGreen Политех https://vk.com/irizka_dasha

Круглова Софья Михайловна, активист ReGreen Политех <https://m.vk.com/idkwamduin>

Редактор перевода: Забелин Святослав Игоревич <https://vk.com/id21637023>

Авторы: Джоэл Миллвард-Хопкинс, Джулия К. Штайнбергер, Нарасимха Д. Рао, Янник Освальд

Исследовательский институт устойчивого развития, Школа Земли и окружающей среды, Университет Лидса, Лидс, Великобритания

<https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2020.102168>

Received 23 April 2020; Received in revised form 31 August 2020; Accepted 9 September 2020

Global Environmental Change 65 (2020) 102168

Available online 29 September 2020

0959-3780/ © 2020 The Authors. Published by Elsevier Ltd. This is an open access article under the CC BY license

(<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

Ключевые слова: базовые потребности, изменение климата, спрос, энергия, неравенство, достаточность

Аннотация

Очевидно, что для предотвращения экологического кризиса потребуются радикальные изменения в современном обществе и мировой экономике. В то же время, миллиарды людей по-прежнему не имеют доступа к базовым материальным благам. В данной статье мы предлагаем модель "снизу вверх", оценивающую минимально необходимый уровень конечного потребления энергии для обеспечения достойных условий жизни для всех жителей планеты. Мы пришли к выводу, что к 2050 году глобальное потребление энергии может быть снижено до уровня 1960-х годов, несмотря на увеличение численности населения с тех пор в три раза. Однако такой сценарий требует широкого внедрения передовых технологий во всех секторах и радикальных изменений в потребительских практиках, чтобы снизить потребление до уровня достаточности, независимо от уровня доходов. При этом уровень достаточности, предложенный в нашей модели, значительно превышает минимальные потребности, описанные в литературе, выступающей за снижение потребления.

1. Введение

Годовое потребление энергии охотников-собирателей позднего палеолита оценивается примерно в 5 ГДж на человека в год (Смил, 2017) – это сумма энергии, получаемой с пищей, и биомассы, используемой для приготовления пищи. К 1850 году, после почти 10 000 лет экспансии, поддерживаемой сельским хозяйством, среднее глобальное потребление первичной энергии возросло до более чем 20 ГДж на душу населения (GEA, 2012). Сегодня, после 150 лет индустриального развития на основе ископаемого топлива, этот показатель достиг 80 ГДж на душу населения (IEA, 2019a). В абсолютных величинах общее глобальное потребление первичной энергии выросло с примерно 1 ПДж в позднем палеолите до почти 600 000 ПДж сегодня, что привело к изменениям в составе атмосферы (потепление) и океанов (закисление), вызывающим опасные изменения климата (IPCC, 2018).

Принесли ли значительные увеличения потребления энергии, которые сопровождали сельскохозяйственные и промышленные революции, сопоставимые улучшения для благосостояния человека? Факты указывают на то, что на протяжении большей части последних 10 000 лет сельское хозяйство приводило к снижению качества жизни для большинства человеческих популяций по сравнению с их предшественниками-охотниками-собирателями (Ларсен, 2006). Однако в последние века наблюдается быстрое изменение этой тенденции с улучшением показателей здоровья по всем направлениям. Тем не менее, трудно сказать, лучше ли живется современным людям по сравнению с древними охотниками-собирателями (Даймонд, 2010), которые были гораздо более социально и политически развитыми, чем это часто предполагается (Венгроу и Гребер, 2015). Доступные данные – такие как продолжительность жизни, детская смертность и уровни насилия в некоторых современных обществах охотников-собирателей – никогда не смогут полностью передать картину (Харари, 2016).

Однако, что касается современной эпохи, можно с уверенностью утверждать следующее: Во-первых, текущие уровни потребления энергии являются основой множества экзистенциальных угроз – экологических кризисов (Хаберль и др., 2011; Стеффен и др., 2015), дефицита ресурсов и геополитической нестабильности, которые эти проблемы могут спровоцировать, особенно в условиях глобальной экономики, зависящей от роста (Бюкс и Кох, 2019). И наиболее сильно от этого страдают самые незащищенные слои населения (Хаберль и др., 2011).

Во-вторых, хотя за время индустриальной революции произошло значительное улучшение энергоэффективности, эти достижения, в основном, способствовали повышению производительности и дальнейшему росту (Брокуэй и др., 2017; Сакай и др., 2018; Айрес и Уорр, 2010). Таким образом, глобальное потребление энергии постоянно увеличивалось (GEA, 2012), за исключением периодов финансовых кризисов – их влияние быстро ослабевало (Гилс, 2013) – и глобальных пандемий (Ле Кере и др., 2020), долгосрочные последствия которых еще предстоит оценить.

В странах, где кажется, что экономическая активность отделена от потребления энергии, это обычно связано с применением методов бухгалтерского учета, которые не учитывают вынос производства и импорт товаров (Арто и др., 2016; Хаберль и др., 2020).

Наконец, значительный рост потребления энергии, наблюдаемый в последние десятилетия, перестает приносить ощутимую пользу для благосостояния населения после достижения определенного уровня — дальнейшее увеличение энергопотребления на душу населения дает все меньшую социальную отдачу (Арто и др., 2016; Штайнбергер и Робертс, 2010; Штайнбергер и др., 2012; Мартинес и Эбенхак, 2008). Некоторые страны достигают высоких социальных показателей при гораздо меньшем потреблении энергии, чем другие, но ни одна из них пока не смогла достичь высоких социальных показателей, оставаясь в рамках планетарных границ (О'Нил и др., 2018).

Оценка того, сколько энергии необходимо для обеспечения благосостояния, — задача важная, но непростая. К счастью, в последнее время были достигнуты значительные успехи как в теории (Рао и Баэр, 2012; Дэй и др., 2016; Бранд-Корреа и Штайнбергер, 2017), так и в оценке (Рао и др., 2019; Арто и др., 2016). Считается, что конечный и универсальный набор удовлетворяемых человеческих потребностей лежит в основе удовлетворенности жизнью (О'Нил и др., 2018), в то время как способы их удовлетворения культурно, исторически и технологически разнообразны (Гоф, 2015; Бранд-Корреа и др., 2018). Более того, хотя повышение эффективности, несомненно, способствовало снижению уровня энергопотребления, связанного с развитием человека (Штайнбергер и Робертс, 2010), другие культурные и технологические тенденции, как долгосрочные, так и краткосрочные, работают в противоположном направлении. Например, современные разветвленные социальные сети и глобализованная экономика требуют высоких уровней мобильности и сложных коммуникационных технологий для удовлетворения базовых потребностей в социальной и политической жизни, в то время как инфраструктура,

ориентированная на личные транспортные средства, обеспечивает зависимость значительной части этой мобильности от автомобилей. Глобальное население в миллиарды человек требует значительной сельскохозяйственной деятельности – методы собирательства наших предков были гораздо менее энергоемкими, но могли бы поддержать менее 1% нынешнего мирового населения (Бургер и Фристоу, 2018). Более того, неравенство, и особенно роскошь, теперь широко признаны ключевыми факторами экологического ущерба (Видман и др., 2020).

Здесь мы стремимся внести свой вклад в эти дискуссии, оценив минимальные конечные энергетические потребности для обеспечения достойных условий жизни для всего мирового населения к 2050 году. Мы строим энергетическую модель на основе предложенного Рао и Мин (2018а) списка базовых материальных потребностей, лежащих в основе благосостояния человека, и рассматриваем конечную (в отличие от первичной) энергию, чтобы приблизиться к определению энергетических требований обеспечения общественной жизни. Эти материальные потребности во многом специфичны для нашего времени, но могут быть разумной основой на предстоящие десятилетия. Мы обнаружили, что сочетание наиболее эффективных доступных технологий и радикальных трансформаций спроса, снижающих чрезмерное потребление до уровня достаточности, может снизить конечные энергетические потребности для обеспечения достойных условий жизни для мирового населения к 2050 году более чем на 60% по сравнению с сегодняшним уровнем потребления. В странах, которые в настоящее время являются крупнейшими потребителями энергии на душу населения, сокращение потребления энергии примерно на 95% представляется возможным, при этом обеспечивая достойный уровень жизни для всех.

2. Бэкграунд и теория

2.1. Два взгляда на человеческое благосостояние и основные потребности

Что мы понимаем под достойной жизнью, и как она связана с благосостоянием и ощущением благополучия? Дебаты о хорошей жизни ведутся на протяжении тысячелетий – начиная с аристотелевских и буддийских идей (Гоф, 2015), и они, вероятно, уходят корнями в дописьменную (пред)историю. Эта тема обширна, но в экологическом контексте обсуждения в основном сосредоточены на двух типах благосостояния (well-being): гедонистического и эвдемонического (Лэмб и Штайнбергер, 2017; Бранд-Корреа и Штайнбергер, 2017; Гоф, 2015; О'Нил, 2008).

**Well-being - Благополучие, также известное как хорошее самочувствие, благоразумная ценность или качество жизни, относится к тому, что является внутренне ценным по отношению к кому-то. Благополучие понимается как экономическая характеристика.*

Первое берёт начало в утилитаризме Бентама и эпикурейской философии и ставит во главу вопросы счастья и субъективного благополучия; расчета удовольствия и боли (О'Нил, 2008). В экономике такие идеи часто упрощались до концепции «чем больше, тем лучше», предполагая, что люди могут рационально оценивать, что увеличение потребления приводит к улучшению их жизни (Гоф, 2015). Вкратце, это сводится к предположению, что с ростом доходов (благосостояния-СЗ) также растет и благополучие (Макс-Ниф, 1995; Истерлин, 2017). Другие использовали те же идеи, чтобы подчеркнуть концепцию «гедонистической беговой дорожки» потребления, при которой люди постоянно адаптируются к улучшению материальных условий, и, в итоге, ощущение благополучия стагнирует, несмотря на рост богатства. С этой точки зрения истинное счастье можно достичь только отвернувшись от мира статусного потребления и ненасытных желаний (О'Нил, 2008; Джексон, 2005). Эта «адаптивность» также подвергалась критике за свои противоположные последствия: когда люди приспосабливаются к сложным обстоятельствам, это может скрывать системные несправедливости под маской субъективного удовлетворения (Лэмб и Штайнбергер, 2017). Тем не менее, такая адаптивность является предпочтительной, учитывая, насколько многие внешние

обстоятельства жизни человека находятся вне его контроля и как мимолетны могут быть желания – вещи, о которых Будда учил тысячелетия назад.

Несмотря на способность человека адаптироваться к неблагоприятным обстоятельствам, немногие спорят с идеей, что общество должно быть устроено таким образом, чтобы базовые человеческие потребности были удовлетворены повсеместно и насколько это возможно. Здесь на помощь приходит эвдемоническое понимание благополучия, которое лежит в основе подходов, ориентированных на способности и потребности (Фэннинг и О'Нил, 2019; О'Нил, 2008). В широком смысле, они сосредоточены на предоставлении людям возможностей для процветания – физическое здоровье и безопасность; чистый воздух и вода, достаточное питание; социальное и политическое участие; автономия, насколько это возможно (Грин и Коэн, 2004), культивируемая через образование и когнитивное понимание; время и пространство для творчества и социального взаимодействия (Лэмб и Штайнбергер, 2017; Гоф, 2015). Аргумент в пользу того, что такие базовые потребности являются универсальными и независимыми от культурного контекста, основывается на различии между потребностями и способами их удовлетворения. Потребности универсальны; способы их удовлетворения различаются в зависимости от культур разных стран и народов (Дойл и Гоф, 1991).

Подходы, основанные на потребностях, в последнее время использовались в качестве основы для разработки моделей, в которых структуры, направленные на разделение потребления энергии и благосостояния человека, рассматриваются отдельно (Бранд-Корреа и Штайнбергер, 2017). Но для моделирования эти базовые человеческие потребности должны быть переведены в материальные требования. Недавно Рао и Мин (2018a) заполнили этот пробел, предложив перечень универсальных материальных требований, которые, по их мнению, являются предпосылками для удовлетворения базовых человеческих потребностей. При составлении этого перечня они предложили, чтобы каждое материальное требование (а) удовлетворяло как минимум одну базовую потребность, (б) не препятствовало другим в удовлетворении их потребностей и (в) либо было единственным способом удовлетворения данной потребности, либо в настоящее время было предпочтительным для людей (в глобальном масштабе) среди конкурирующих способов удовлетворения. Они подчеркивают, что выполнение этих материальных требований является инструментальным для достижения социального и физического благополучия, но само по себе далеко не достаточным. Их перечень представлен в Таблице 1 вместе с указанием всех региональных вариаций, которые мы применяем в модели (описанной в Разделе 3).

Наш вклад концептуально прост: мы стремимся оценить конечную энергию, необходимую для обеспечения этих материальных стандартов жизни для всего мирового населения. В этом процессе мы намерены представить мир, который кардинально преобразован, где передовые технологии сочетаются с радикальными изменениями спроса, чтобы снизить потребление энергии (и материалов) до возможного минимума, при этом обеспечивая достойные материальные условия и базовые услуги для всех. С этой целью мы применяем подход моделирования "снизу вверх".

Таблица 1

Определение достойного уровня жизни (DLS dimension)	Материальные потребности и услуги (Material requirements and services)	Региональные вариации (Regional variation)
Питание	Продукты питания	Варьируется в зависимости от возрастной структуры стран

	Приборы для готовки	Не предусмотрены
	Морозильные камеры	Не предусмотрены
Жилье и условия проживания	Достаточная площадь жилья	Не предусмотрены
	Тепло (отопление)	Варьируется в зависимости от региональных показателей HDD (heating degree days) и CDD (cooling degree days)
	Достаточное освещение	Не предусмотрены
Гигиена	Водоснабжение	Интенсивность варьируется в зависимости от нехватки воды (большая нехватка → более высокая интенсивность)
	Нагрев воды	Интенсивность варьируется в зависимости от средних температур в странах
	Утилизация отходов	Не предусмотрены
Одежда	Предметы одежды	Не предусмотрены
	Средства и возможности для стирки одежды	Не предусмотрены
Здравоохранение	Больницы	Не предусмотрены
Образование	Школы	Требования варьируются в зависимости от возрастной структуры населения (больше молодых людей → больше школ)
Связь и информация	Телефоны	Требования варьируются в зависимости от возрастной структуры населения (больше детей младше 10 лет → меньше телефонов)
	Компьютеры	Не предусмотрены
	Сети и дата-центры	Не предусмотрены
Мобильность	Производство автомобилей Обеспечение движения	Уровни активности и распределение видов транспорта варьируются в зависимости от скорректированной плотности населения в странах

		(более низкая плотность → более низкие уровни активности)
	Транспортная инфраструктура	Не предусмотрены

2.2. Два подхода к оценке минимальных требований по энергопотреблению

Попытки смоделировать энергетические потребности для удовлетворения базовых человеческих нужд и обеспечения высокого качества жизни, как правило, основываются на двух подходах: сверху-вниз и снизу-вверх.

Подходы сверху-вниз анализируют эмпирические данные статистически, чтобы исследовать связи между экологическими воздействиями и социальными результатами. К первым относят потребление энергии, экологический или углеродный след (Wackernagel и Rees, 1998), ко вторым — ожидаемую продолжительность жизни (Dietz и др., 2012; Jorgenson и Dietz, 2015; Givens, 2018), удовлетворенность жизнью (Knight и Rosa, 2011), а также составные индикаторы, такие как индекс человеческого развития (HDI) (Martínez и Ebenhack, 2008; Steinberger и Roberts, 2010), и наборы показателей, часто вдохновленные целями устойчивого развития ООН (Lamb, 2016; Lamb и Rao, 2015; O'Neill и др., 2018).

Преыдушие оценки энергопотребления, необходимого для достижения, например, высокого уровня HDI, весьма разнообразны. Для достижения HDI выше 0,8 требуется от 30 до более 100 ГДж/чел/год в пересчете на первичную энергию (Martínez и Ebenhack, 2008; Steinberger и Roberts, 2010; Smil, 2005; Rao и др., 2019). Этот разброс неудивителен, учитывая разнообразие культурных, политических, технологических и климатических факторов. Тем не менее, можно сделать полезные выводы: улучшения социальных результатов с увеличением энергопотребления становятся все менее значительными и достигают насыщения при уровне 100–150 ГДж на человека в год первичной энергии (Arto и др., 2016); со временем страны начинают достигать высоких социальных результатов с меньшим энергопотреблением (Steinberger и Roberts, 2010; Jorgenson и др., 2014); энергопотребление стран с высокими социальными результатами оказывается выше, если учитывать потребительский подход, что связано с переносом энергоемких производств за границу (Arto и др., 2016); уровень демократии не оказывает значимого влияния на энергоемкость благополучия (Mayer, 2017).

Исследования, изучающие экологическую стоимость благосостояния другими способами, например, через соотношение выбросов парниковых газов или экологического следа с уровнем благосостояния, также дают интересные результаты. Снова отмечается, что экологическая стоимость благополучия со временем снижается (Йоргенсон, 2014), но при этом она выше при более высоких доходах (Йоргенсон и Дитц, 2015; Йоргенсон и Гивенс, 2015). Кроме того, взаимосвязь между неравенством и углеродными выбросами является сложной. Некоторые исследования указывают на то, что неравенство увеличивает углеродные выбросы на душу населения при заданном уровне благосостояния (Йоргенсон, 2015), особенно если речь идет о неравенстве между странами (Rao и Min, 2018b). Другие предполагают, что снижение неравенства внутри стран, вероятно, увеличит общий углеродный след в странах с низким и средним уровнем доходов (Grunewald и др., 2017); в странах с высоким уровнем доходов может наблюдаться обратная зависимость (Hubacek и др., 2017), но это пока недостаточно изучено. Наконец, хотя многие страны предоставляют хорошие базовые услуги (например, обеспечивают выполнение санитарных норм) и достигают некоторых социальных результатов (например, увеличенной продолжительности жизни) с низкими выбросами парниковых газов на душу населения (Lamb и др., 2014), редко можно найти страны, которые достигают хороших социальных результатов по всем показателям при относительно низких выбросах (Lamb, 2016). Более того, ни одна из них не делает этого, оставаясь в пределах планетарных границ (O'Neill и др., 2018). Основная проблема подходов сверху-вниз заключается в том, что они

предполагают сохранение существующих взаимосвязей между социальными результатами и экологическими воздействиями. Однако, текущая социально-политическая организация, экономические системы обеспечения и крайне неравномерное распределение богатства и доходов оказывают значительное влияние на эффективность использования энергии и ресурсов для обеспечения благополучия человека. В результате, неэффективности, присущие этим системам, часто оказываются встроенными в выводы исследований, основанных на моделировании сверху-вниз. Лишь немногие исследования направлены на устранение неэффективного потребления ресурсов и неэффективности общественного устройства, которое не приводит к удовлетворению человеческих потребностей или даже препятствует их удовлетворению (Max-Neef, 1995; Lamb и Steinberger, 2017; Jackson и Marks, 1999). Потребление часто обусловлено факторами, не связанными с благополучием, такими как стремление к частной выгоде, стресс, связанный с работой, плохое психическое здоровье, показное потребление, роскошь или просто чрезмерное потребление в различных формах и т.д. (Gough, 2017).

На самом деле, исследования спроса являются редкостью (Creutzig и др., 2018). Напротив, исследователи часто сосредотачиваются на стороне производства, анализируя экологические выгоды от повышения технологической эффективности. Такие решения часто кажутся позитивными, но технологические тенденции трудно предсказать. Появление инноваций, способных изменить правила игры, сложно прогнозировать, и они могут как способствовать устойчивому развитию, так и препятствовать ему. Например, несмотря на постоянные улучшения в эффективности двигателей, пассажирские самолеты 2000-х годов были столь же эффективны, как и самолеты 1950-х годов, из-за изобретения реактивных двигателей и повсеместного замещения винтовых самолетов (Peeters и др., 2005).

Подходы снизу-вверх во многом избегают этих ограничений. Они основываются на инвентаризации потребления, включающей всё, что считается необходимым для обеспечения достойной жизни человека, и оценке экологических последствий предоставления этих благ. При построении таких моделей можно минимизировать влияние текущих социально-политических условий; если исследователь хочет изучить, например, неравенство или чрезмерное потребление, эти факторы должны быть специально учтены в модели. Однако обратная сторона заключается в том, что такие модели склонны к недооценкам. Жизненно важные товары или услуги с большей вероятностью будут исключены из модели, чем учтены дважды, а экологические последствия производственных цепочек с большей вероятностью будут сокращены, чем искусственно удлинены (Fry и др., 2018).

Раннюю оценку по методу снизу-вверх представили Goldemberg и др. (1985). Они провели инвентаризацию деятельности в жилищном секторе (готовка, хранение продуктов и т. д.), коммерческом секторе (площадь помещений), транспорте (частный, общественный и грузовой), производстве (сталь, цемент и т. д.) и сельском хозяйстве (продовольствие). Вместе эти действия были оценены как достаточные для удовлетворения «основных нужд и даже большего» при энергопотреблении всего 30 ГДж/чел/год конечной энергии. В недавнем исследовании Rao и др. (2019) оценили, что для обеспечения достойных материальных условий жизни в Индии, Бразилии и Южной Африке требуется от 12 до 24 ГДж/чел/год конечного энергопотребления. Они использовали инвентаризацию, аналогичную той, что использовали Goldemberg и др., но добавили современные технологии связи и информации, образование, здравоохранение и водоснабжение (среди прочего), а также сделали точные оценки косвенного энергопотребления. В другом недавнем исследовании Grubler и др. (2018) предложили значения для глобального сценария с низким энергопотреблением, которые соответствуют приведенным выше диапазонам. Аналогичные исследования проводились для оценки углеродных выбросов (Mundaca и др., 2019; Akenji и др., 2019). В нашем исследовании мы используем подход снизу-вверх, опираясь на традицию, заложенную Goldemberg и др.

2.3. Два типа энергии

Наш выбор в пользу рассмотрения конечной энергии является новаторским, но необходимым: конечная энергия лучше отражает реальные энергетические потребности общества и экономической деятельности (Alessio et al., 2020). Первичная энергия учитывает портфель существующих источников энергии, включая потери при их преобразовании в конечную энергию – например, угля в электричество или нефти в бензин. Однако возобновляемые источники энергии, такие как солнечная или ветровая, не имеют эквивалента первичной энергии, и это приводит к необходимости делать произвольные допущения при их сравнении с ископаемыми видами топлива. Такие вводящие в заблуждение сравнения могут создавать иллюзию, что ископаемые виды топлива превосходят возобновляемые источники (Brockway et al., 2019). Этих проблем можно избежать, сосредоточив внимание на конечной энергии.

Однако обсуждение конечной и первичной энергии подводит нас к другому важному моменту: конечная энергия является средством достижения цели – одним из этапов энергетического каскада (Kalt et al., 2019). Конечная энергия может предоставлять энергетические услуги, такие как отопление или мобильность, которые, в свою очередь, обеспечивают блага, например комфорт и возможность социальной активности. Эти блага, в свою очередь, могут удовлетворять различным аспектам человеческого благосостояния. Таким образом, конечная энергия ближе к услугам, способным удовлетворять основные потребности, чем первичная энергия.

Это подводит нас к последнему важному выводу: если энергетический след страны превышает то, что, по нашим оценкам, требуется для обеспечения достойного уровня жизни, это не означает, что достойные условия жизни обеспечены для всего населения. Насколько эффективно располагаемая конечная энергия каждой страны преобразуется в энергетические услуги, насколько эти услуги соответствуют благам, удовлетворяющим человеческие потребности, и как (не)равномерно эти блага распределены среди населения — это вопросы, которые выходят за рамки нашего исследования, несмотря на их важность.

3. Методы и данные

3.1. Подход

Наш подход моделирования "снизу-вверх" предполагает комбинирование показателей стандартов социальных норм деятельности и связанных с ними энергетических затрат для каждого материального требования или услуги, а затем суммирование по всем измерениям достойного уровня жизни (DLS) для получения оценок общего конечного энергопотребления. Стандарты социальных норм обеспечения видов деятельности включают такие параметры, как квадратные метры жилья на человека, люмены освещения на домохозяйство в день, килограммы новой одежды на человека в год и литры горячей воды на человека в день.

Определив энергетические затраты в тех же единицах измерения, мы можем выполнить простое масштабирование для получения энергопотребления для каждого компонента DLS. Например, если у нас есть данные о прямых энергетических затратах на отопление и охлаждение, а также на энергию, затраченную на производство строительных материалов, которые записаны в МДж на м² жилой площади, их можно просто умножить на показатель социальных норм жилплощади в м² на человека, чтобы получить необходимую энергию на душу населения.

Для получения соответствующих показателей социальных норм обеспечения разных видов деятельности и энергетических затрат требуется сбор и синтез различных данных, и мы предлагаем высокоуровневое обобщение наших значений в Таблице 2. Для энергетических затрат мы используем широкий спектр данных, включая (среди прочих) оценку жизненного цикла, анализ затрат на производство, промышленную экологию и передовые инженерные разработки, чтобы получить значения, соответствующие самым

эффективным доступным технологиям. Для показателей социальных норм видов деятельности мы стремимся определить, что является достаточным, то есть, какое потребление необходимо для достойной жизни, но не более того. Rao и Min (2018a) предлагают первые приближенные значения для каждого компонента DLS, но они не предназначены для прямого использования в энергетических моделях – они не всегда количественно выражены и не всегда достаточно детализированы. Поэтому мы вносим различные изменения и добавляем дополнительные детали, где это необходимо. Например, Rao и Min предлагают оценку общих потребностей в мобильности на человека (7000 км/год), но мы должны разделить это на различные виды транспорта. Они также указывают требования к здравоохранению и образованию в терминах минимальных затрат и количества врачей и учителей на 1000 человек. Исходя из этого, мы определяем площадь больниц и школ, необходимую каждой стране, а затем оцениваем нормативное и фактическое энергопотребление этих зданий, а также всего связанного с ними оборудования и деятельности. Дополнительное предположение, которое мы делаем, заключается в том, что средний размер домохозяйства составляет четыре человека для всех стран; это учитывается в расчетах, где показатели социальных норм определяются относительно количества людей в домохозяйстве, например, наше предположение о достаточности одного ноутбука на домохозяйство.

Как для показателей социальных норм обеспечения видов деятельности, так и для энергетических затрат мы учитываем региональные вариации, если это целесообразно и если у нас есть достаточные данные. Например, ежедневные потребности в калориях варьируются в зависимости от возраста, достигая пика в начале двадцатых годов жизни, поэтому мы учитываем возрастной состав населения стран при расчете средних показателей потребности в пище на душу населения. Аналогичным образом, мы учитываем площадь образовательных учреждений в зависимости от доли населения в возрасте 5–19 лет, однако следует отметить, что наши показатели энергетических затрат не зависят от изменений в социальных нормах активности. Другие аспекты нашего моделирования региональных вариаций являются особенно новаторскими:

- Для мобильности, вместо использования фиксированного показателя социальной нормы этой активности для всех стран, мы определяем количество пассажиро-километров на душу населения как функцию скорректированной плотности населения — национальной плотности, скорректированной с учетом того, какая часть территории заселена. Это более точно отражает плотность в реальных условиях жизни людей. Такая скорректированная плотность также влияет на наши расчеты доли различных видов транспорта, включая (амбициозную) комбинацию немоторизованного транспорта, общественного транспорта, ограниченного использования частных автомобилей и авиаперелетов.

- Для теплового комфорта количество жилой площади на человека фиксировано для всех стран. Однако для определения энергетических затрат мы интегрируем (i) данные о прямых энергетических потребностях на единицу площади, которые варьируются в зависимости от количества дней с необходимостью отопления (HDD) и охлаждения (CDD), с (ii) национальными данными, взвешенными по численности населения, для HDD и CDD, а также прогнозами изменений этих параметров в условиях будущих климатических изменений. Мы проводим этот анализ для жилых, медицинских и общественных зданий. Таким образом, мы учитываем климатические особенности и прогнозируемые изменения для различных регионов, что позволяет нам более точно оценивать энергетические потребности для обеспечения комфортного температурного режима в различных климатических зонах.

- Для водоснабжения мы начинаем с оценки текущих энергетических затрат на единицу объема водоснабжения — сколько мегаджоулей (МДж) требуется на каждый литр воды, подаваемой в домохозяйства. Региональные вариации в этом показателе учитываются, исходя из текущих проблем с нехваткой воды. Затем мы используем

прогнозы стресса водных ресурсов, вызванного изменением климата и ростом населения, чтобы предсказать, как эти энергетические затраты могут изменяться в разных странах. Это позволяет нам учитывать потенциальные изменения в потреблении энергии на водоснабжение, которые могут возникнуть в результате роста спроса на воду и изменения её доступности в условиях изменяющегося климата.

Как уже отмечалось, наша цель — рассмотреть теоретическую ситуацию, при которой спрос на ресурсы значительно снижен, а технологии достигли передового уровня развития. Данные о последних были получены из множества источников, однако иногда эти показатели необходимо корректировать для соответствия видам деятельности. Например, для оценки энергетических затрат на частный транспорт мы начинаем с показателей для современных транспортных средств, основываясь на том, что, по мнению Куллена и др. (2011), можно достичь в долгосрочной перспективе. Однако мы несколько ослабляем эти предположения, чтобы учесть необходимость использования более крупных транспортных средств, необходимых для достижения предполагаемых высоких показателей загрузки. Важно отметить, что «достижимость» в данном контексте относится к инженерным соображениям — мы не касаемся вопросов доступности таких технологий с финансовой точки зрения, и в рамках текущей экономической парадигмы, в которой существуют серьёзные барьеры, которые потребовали бы масштабных программ технологического трансфера из стран глобального Севера (наряду с многими другими мерами).

Кроме того, хорошо известны несправедливые распределительные последствия внедрения высокотехнологичных экологических решений. Например, гибридные автомобили и солнечные панели на крышах обычно доступны только более состоятельным гражданам, которые, соответственно, становятся единственными, кто выигрывает от связанных с ними налоговых льгот и субсидий.

При представлении результатов мы также приводим для сравнения недавно опубликованные оценки конечного потребления энергии за 2011 год, полученные на основе данных глобального проекта анализа торговли (GTAP) для 119 стран (Oswald et al., 2020). Это даёт представление о текущем уровне потребления энергии по сравнению с минимальным уровнем, который наш модельный сценарий предлагает как возможный для обеспечения достойного уровня жизни. Однако необходимо снова напомнить о дисклеймере, упомянутом в разделе 2.3.

Таблица 2

Перечень необходимых условий для достойного уровня жизни (DLS) (Rao and Min, 2018a) по видам деятельности и прямой и косвенной энергоёмкостью продуктов, цепочек поставок и инфраструктуры. Числа округлены и представлены в виде диапазонов, где существуют различия между странами и поддеятельностями (например, разные виды транспорта). Приблизительные процентные увеличения для сценариев с более высоким спросом (HD) и менее развитыми технологиями (LAT) приведены там, где это возможно, но это не всегда может быть изложено в таком формате. Полные сведения можно найти в **Дополнительных материалах**.

Материальные компоненты и услуги DLS	Виды деятельности	Энергетические затраты			
		HD	Затраты (прямые)	Стандартный (косвенный)	LAT
Питание					
Еда	2000-2150 ккал/чел/в день	15%	—	3 кДж/ккал	30%
Кухонные приборы	1 кухонная плита/семья	—	0.8 кДж/ккал	1 ГДж/устр-во ⁺	50%

Хранение в холоде	1 холодильник с морозильной камерой/семья	–	0.44 ГДж/устр-во ⁺ /год	4 ГДж/устр-во ⁺	–
Условия жизни					
Количество членов семьи	4 чел./семья	– 25%	–	–	–
Достаточное пространство	15 м ² /чел.*	80%	–	2-4 ГДж/м ²	100%
Температурный комфорт	15 м ² /чел.*	80%	20-60 МДж/м ² /год	–	300%
Освещение	2500 лм/дом; 6 ч/сут	100%	150 лм/Вт	14 МДж/дом/год	–
Гигиена					
Водоснабжение	50 л/чел./сут	100%	–	5-17 КДж/л	–
Водяное отопление	20 л/чел./сут	100%	96-220 КДж/л	–	50%
Утилизация отходов	Предоставляется всем домохозяйствам**	–	–	180 МДж/чел./год	200%
Одежда					
Одежда	4 кг новой одежды/год	33%	–	100 МДж/кг	–
Условия для стирки	80 кг белья/год	33%	2.4 МДж/кг	2 ГДж/устр-во ⁺	–
Медицинские учреждения	200 м ² /спальное место	50%	410-560 МДж/м ² /год	14-23 ГДж/м ²	130%
Учебные заведения	10 м ² /ученика	50%	100-130 МДж/м ² /год	4.5-7.5 ГДж/м ²	150%
Связь и информация					
Телефоны	1 телефон/чел. старше 10 лет	–	28 МДж/телефон/год	110 МДж/телефон	30%
Компьютеры	1 ноутбук/семья	–	220 МДж/ноутбук/год	3 ГДж/ноутбук	30%
Сеть и информация	Высокая**	100%	–	~ 0.4 ГДж/чел./год	–
Мобильность					
Производство автомобилей	Соответствует пройденным пкм**	–	–	0.1-0.3 МДж/пкм	50%
Движение транспортного средства	5000-15000 пкм/чел./год	3-10%	0.2-1.9% МДж/пкм ⁺⁺	–	100%
Инфраструктура	Соответствует пройденным пкм**	–	–	0.1-0.3 МДж/пкм	–
* Предполагается 10 м ² жилой площади/человек плюс 20 м ² общего пространства/дом; причем последнее делится на четыре, мы получаем 15 м ² /человека в целом.					

** Вид деятельности сложно определить.

+ «устр-во» значит «устройство».

++ Большой выбор, поскольку он охватывает разные виды транспорта (от общественного транспорта до пассажирских рейсов)

3.2. Временные рамки для инфраструктуры

То, как мы учитываем в моделях долговременную инфраструктуру, требует некоторых пояснений. Наша гипотеза о современных технологиях поднимает вопрос о том, каким образом производить учет ныне существующей инфраструктуры, чей срок службы ограничивается 2050 годом, и в какой момент такая инфраструктура должна быть заменена на более эффективную. Ярким примером является жилищный фонд. Срок службы большей части существующего жилья истекает после 2050 года, поэтому его модернизация куда более вероятна, чем замена зданий на более технологичные, несмотря на то, что у последних энергозатраты ниже. Однако, определение того, какую часть домов в каждой стране будет более грамотно модернизировать, нежели перестраивать, представляется практически невыполнимой задачей; для этого потребуется оценить оставшийся срок службы зданий и применить к нему пороговое время, чтобы определить, когда, с точки зрения полного жизненного цикла, модернизация будет наиболее целесообразна, а также спрогнозировать все это на 2050.

Поэтому, мы предполагаем, что глобальный жилищный фонд будет полностью заменен за счет повсеместного внедрения высокотехнологичных новых зданий с очень низкими потребностями в энергии для отопления и охлаждения - и делаем такое же предположение для других зданий (образовательных, медицинских и коммерческих). Это означает, что значительная часть инфраструктуры будет заменена преждевременно, что можно считать нереальным. Однако мы учитываем всю энергию, воплощенную в эти новые инфраструктуры, распределяя ее по срокам службы зданий (обратите внимание, что мы также учитываем энергию, связанную с освещением и электроприборами, отдельно). Ниже мы покажем, что, если бы мы предположили, что вместо этого будет проведена модернизация, результаты изменились бы лишь незначительно. Таким образом, наши результаты позволяют получить стабильную картину будущего энергопотребления на 2050 год в мире, где передовые технологии полностью внедрены и заменяются по мере необходимости. Остается обоснованным опасение, что, если весь глобальный строительный фонд будет каким-то образом заменен в течение двух-трех лет, то произойдет огромный скачок в энергопотреблении и выбросах углерода. Однако осуществление этого плана за такой короткий промежуток времени находится за пределами нашего рассмотрения.

Чтобы продемонстрировать разницу между новым и модернизированным жильем, даже грубый расчет будет крайне показательным. По нашим расчетам, при полном внедрении высокотехнологичных зданий глобальное годовое потребление энергии для обеспечения температурного режима в жилых домах составит ~5 ЭДж, что равно косвенной энергии, используемой при их строительстве. Данные GBPN (2012) свидетельствуют о том, что прямое потребление энергии для обеспечения температурного режима в *модернизованных зданиях* на ~40% выше, чем в *новых высокотехнологичных зданиях*, строительство которых мы предполагаем. Таким образом, модернизация приведет к увеличению прямой энергии на ~2 ЭДж в год, но если при этом косвенное использование энергии в строительстве сократится, скажем, на 80%, то это будет означать уменьшение косвенной энергии на ~4 ЭДж - чистое снижение на ~2 ЭДж. Это равносильно снижению общего глобального энергопотребления на <2%, что подразумевает незначительный эффект от строительства новых зданий вместо усовершенствования существующих.

3.3. Варианты развития

Нас больше всего интересует наш вариант развития с самым низким энергопотреблением (Decent Living Energy; DLE), но мы также рассматриваем три других: один с повышенным (но все еще относительно низким) спросом (Higher Demand; HD), один без особых технологических амбиций (Less Advanced Technology; LAT) и один с этими двумя отступлениями вместе (HD-LAT). Мы тщательно подошли к формулировке: все эти сценарии, включая HD-LAT, можно считать амбициозными.

Показатели процентного увеличения параметров видов деятельности и энергоемкости по компонентам DLS для разных сценариев представлены в Таблице 2, но следует подчеркнуть, что они являются лишь ориентировочными, поскольку изменения нелегко обобщить на таком высоком уровне. Например, одним из аспектов сценария HD является уменьшение среднего размера домохозяйства (с 4 до 3 человек), что оказывает влияние на многочисленные аспекты потребления - уровень владения бытовой техникой и компьютерами, площадь жилых помещений и, следовательно, энергию, связанную с тепловым оснащением, освещением и строительством. В других случаях модель изменяется на относительно низком уровне несколькими способами, которые в совокупности влияют на один параметр DLS. Так, например, в сценарии HD мы увеличиваем потребление продуктов животного происхождения и количество образующихся пищевых отходов, что в совокупности изменяет энергопотребление на килокалорию потребляемой пищи. Полная информация приведена в Дополнительных материалах.

4. Результаты

4.1. Глобальное потребление энергии для достойной жизни

При сравнении текущего потребления энергии в 119 странах GТАР с нашими оценками потребления энергии для достойной жизни (DLE), мы обнаружили, что подавляющее большинство (~100) стран живут в профиците (рис. 1). Все страны, живущие в дефиците, имеют ВВП/душу населения менее \$6000 по ППС. Диапазон пороговых значений DLE невелик - 13-18,4 ГДж/человека/год конечного потребления энергии для всех 119 стран, в то время как текущее потребление варьируется от менее 5 ГДж/человека/год до более 200 ГДж/человека/год - уровень неравенства, который отражает экологическое давление в более широком смысле (Teixido-Figueras et al., 2016). Текущее потребление увеличивается с ростом ВВП, в то время как DLE (что неудивительно) не имеет никакой зависимости - вместо этого оно определяется климатическими и демографическими факторами (градусо-сутки отопления и охлаждения, возрастные характеристики, плотность населения и т. д.). Если говорить более конкретно, то региональные различия в уровнях активности (в основном уровень мобильности) и энергоемкости (в основном тепловой комфорт и нагрев воды в жилых домах) вносят примерно равный вклад в общий диапазон наших значений DLE. Там, где ВВП/душу населения > 15 000 долларов, текущее энергопотребление в ~2-15 раз больше, чем DLE. Однако еще раз отметим, что это не означает, что достойный уровень жизни в этих местах в настоящее время обеспечен всем.

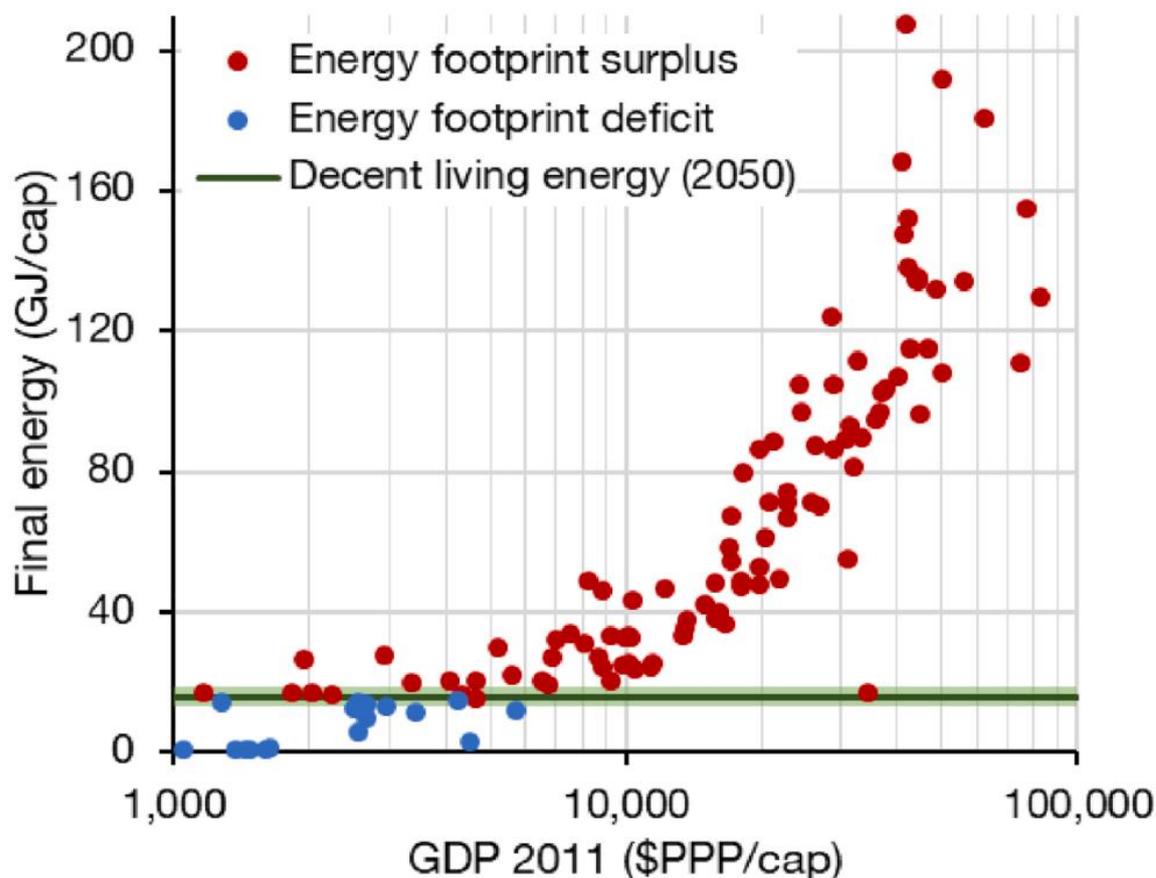


Рис. 1. Конечное потребление энергии для 119 стран в базе данных GTAP, рассчитанное с помощью межотраслевого анализа, за 2011 год. Для этих же стран приведены оценки энергии для достойной жизни. Визуально различия незначительны: все оценки DLE лежат в узкой зеленой полосе, где темная линия - среднее глобальное значение. Обратите внимание на логарифмическое масштабирование только по оси x. (Для интерпретации ссылок на цвет в легенде рисунка читатель может обратиться к веб-версии этой статьи).

По сравнению с другими исследованиями, оценивающими будущий конечный спрос на энергию, наши оценки DLE удивительно низки: глобальное конечное потребление энергии составит 149 ЭДж в 2050 году (рис. 2; или 15,3 ГДж/человека/год). Это более чем на 60% ниже текущего потребления (несмотря на то, что численность населения в 2050 году будет на ~30% больше, чем в настоящее время); на 75% ниже оценки Международного энергетического агентства «Утвержденной политики» на 2050 год - ожидаемой траектории при условии выполнения и сохранения сегодняшних обязательств - и на 60% ниже самого амбициозного сценария устойчивого развития (IEA, 2019b); и примерно на 40% ниже потребления в 2050 году по сценарию низкого спроса на энергию Grubler et al. (2018) (245 ЭДж).

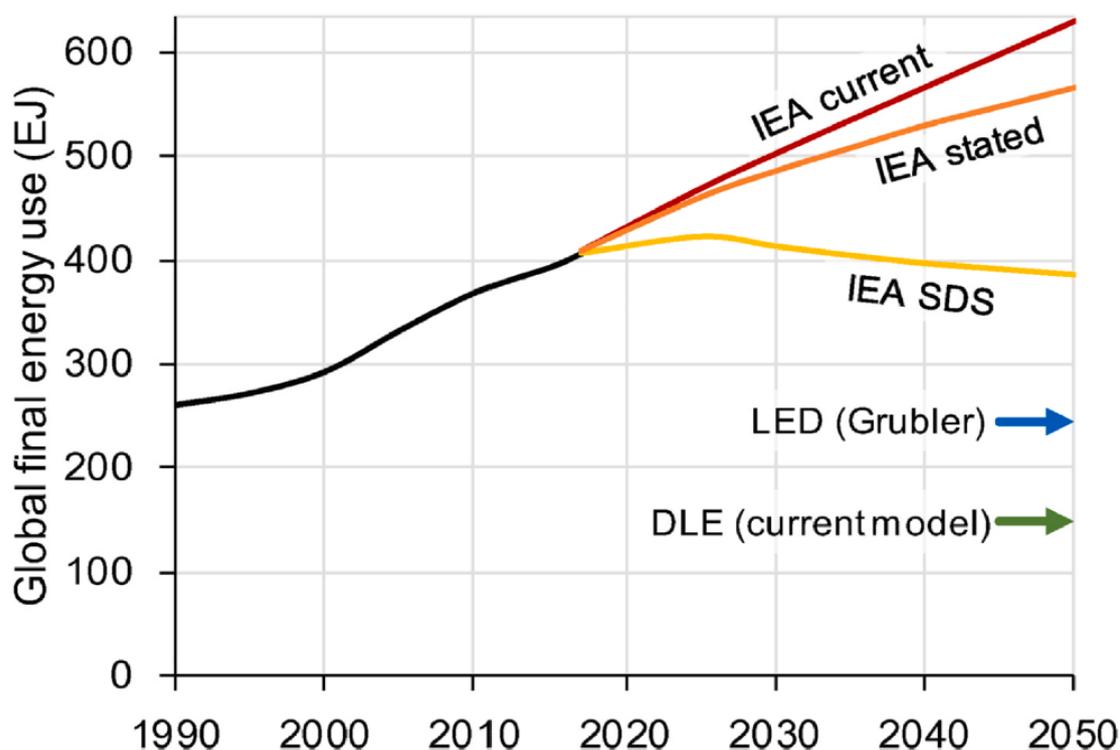


Рис. 2. Глобальное конечное потребление энергии, включая: исторические данные и прогнозы по сценариям МЭА «Текущая политика», «Стационарная политика» и «Устойчивое развитие» (SDS); оценка низкого спроса на энергию Грублера и др. на 2050 год; и текущая оценка DLE на 2050 год.

Однако обратите внимание, что ни в одном из этих исследований не делается попытка, как это делаем мы, минимизировать потребление энергии, не жертвуя при этом достойной жизнью. Например, в Сценарии Устойчивого Развития МЭА основное внимание уделяется выполнению Целей устойчивого развития ООН путём повышения доступности электричества и наличия чистых кухонных плит до 100% в глобальном масштабе; это фактически устанавливает нижний предел потребления, но МЭА не рассматривает возможность ограничения энергопотребления самых богатых потребителей мира. Это является основной причиной того, что конечное потребление энергии SDS на 2050 год в два раза больше нашего - и, кстати, это оставляет без внимания 10-ю Цель Устойчивого Развития, касающуюся снижения неравенства.

4.2. Использование энергии в составляющих достойной жизни

В глобальном масштабе наибольший вклад в DLE вносят питание и мобильность - по ~3 ГДж/человека/год (рис. 3). Питание, в основном, включает в себя производство и поставку продуктов питания (мы не включаем энергию, содержащуюся в самих продуктах питания), и только 0,5 ГДж/человека/год приходится на приготовление пищи и холодное хранение. Что касается использования энергии, относящейся к передвижению, то 70 % приходится на производство и энергообеспечение транспортных средств, а остальные 30 % тратятся для создания инфраструктуры транспортных сетей (например, железных и автомобильных дорог). Жилье, условия жизни, здравоохранение и гигиена вносят свой вклад в глобальном масштабе в размере ~1,5 ГДж/человека/год каждое. В первом случае вклад строительства домов и теплового баланса примерно одинаков, а энергия, используемая для освещения, сравнительно незначительна. Здравоохранение включает в себя строительство больниц и услуги, предоставляемые ими, а также более широкие виды деятельности, такие как медикаменты и транспортировка скорой помощи. В сфере гигиены доминирует нагрев воды в домашних хозяйствах, на который приходится 1 ГДж/человека/год, а остальные 0,5 ГДж/человека/год распределяются поровну между водоснабжением домашних хозяйств и

утилизацией отходов (т.е. вся энергия, используемая этими секторами, включая строительство инфраструктуры). Потребление энергии, связанное с одеждой (производство и стирка одежды), образованием (строительство школ и энергопотребление в них) и связью и информацией (телефоны, ноутбуки и инфраструктура, необходимая для работы сетей и центров обработки данных), в совокупности составляет в среднем почти 2 ГДж/человека/год.

Разбивка DLE по составляющим также показана для Руанды, где с учётом региональной специфики нашей модели требования к мобильности и температурному режиму низкие; Уругвая, где требования к мобильности высокие, а к температурному режиму средние; и Кыргызстана, где требования и к мобильности, и к температурному режиму высокие. Соответственно, порог DLE для Руанды оценивается в 13,5 ГДж/человека/год, для Уругвая - в 16 ГДж/человека/год, а для Кыргызстана - в 18,4 ГДж/человека/год. Кроме мобильности и температурного режима, различия между странами наблюдаются и в других категориях, обусловленные такими факторами, как возрастная структура населения, которая влияет на потребности в образовании и потреблении пищи; предполагаемая доступность строительных материалов с низким энергопотреблением (например, древесины как альтернативы стали); энергоёмкость водоснабжения, которая, как мы предполагаем, зависит от дефицита (или избытка) местных источников. Однако в целом влияние этих факторов незначительно или пренебрежимо мало.

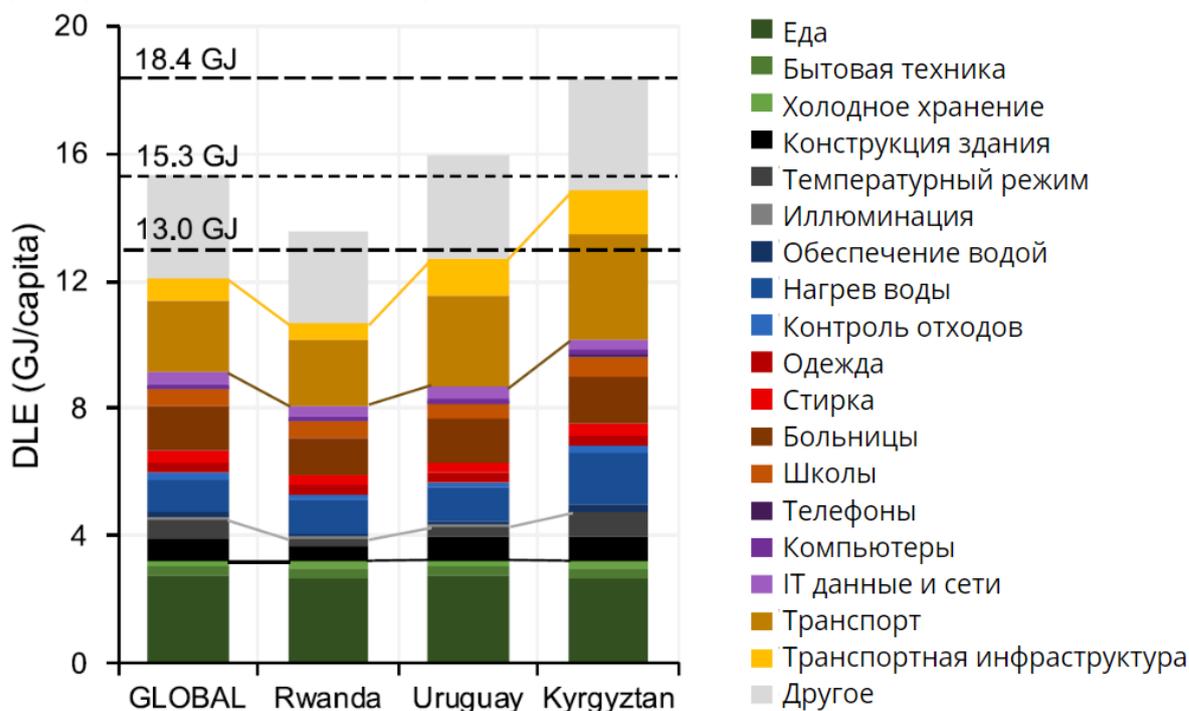


Рис. 3. Энергия для достойной жизни на душу населения (в конечной энергии), разбитая на категории и подкатегории потребления, подробно описанные в Таблице 1. Наш средний глобальный показатель показан вместе с данными по Руанде, Уругваю и Кыргызстану. Также показаны пунктирные линии, обозначающие среднее, минимальное и максимальное значение (15,3, 13,0 и 18,4 ГДж/человека/год соответственно).

4.3. Сценарии с более высоким уровнем энергопотребления

Наконец, мы рассмотрим влияние отказа от решений, принятых при расчёте наших пороговых значений DLE (рис. 4), до уровней, которые все ещё являются относительно амбициозными, но менее амбициозными, чем в случае DLE. В сценарии повышенного спроса потребление энергии возрастает на 40 % - с ~15 ГДж/человека до ~24 ГДж/человека - из-за ослабления различных ограничений DLE. К ним относятся, в частности, уменьшение среднего размера домохозяйства (с 4 до 3); увеличение потребления воды и продуктов питания животного происхождения; увеличение количества пищевых отходов;

увеличение площади на душу населения во всех типах зданий; увеличение числа авиаперелетов, а также смещение акцента в мобильности с общественного транспорта и безмоторного перемещения на личный; сокращение срока службы одежды; и увеличение активности в сетях ICT. Сектор потребления, в котором наблюдается наибольший рост, - питание, что происходит, в основном, за счет увеличения количества отходов и потребления продуктов животного происхождения (несмотря на то, что доля последних в потреблении пищи в пересчете на ккал по-прежнему составляет менее 20 %). В относительном выражении потребление энергии, связанное со всеми другими категориями, также значительно увеличивается, обычно на 50-100 %, хотя увеличение энергии, связанной с передвижением, несколько ниже - ~30 %.

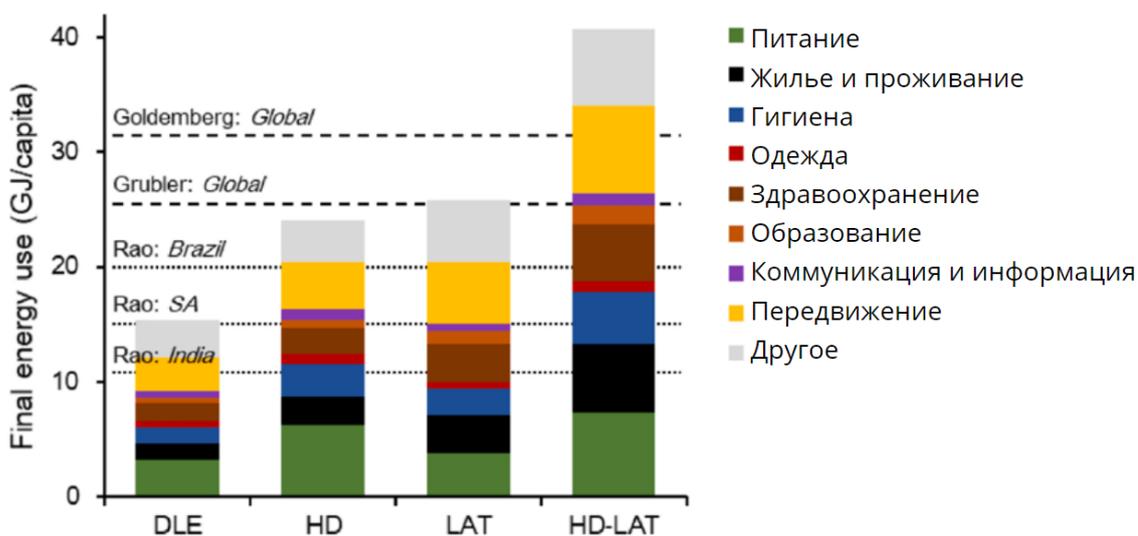


Рис. 4. Среднемировые показатели энергии для достойной жизни на душу населения в 2050 году и три сценария с отказом от решений, а именно: более высокий спрос (HD), менее передовые технологии (LAT) и более высокий спрос и менее передовые технологии вместе (HD-LAT). Также показаны пороговые значения энергопотребления по другим сценариям, как описано в тексте. Примечание: SA = Южная Африка.

В сценарии «Менее Передовые Технологии» среднемировое потребление энергии увеличивается на аналогичную величину по сравнению со сценарием DLE, на этот раз до 26 ГДж/человека (рис. 4). Это связано с увеличением энергоемкости в различных частях модели, например, для энергии, используемой в процессе эксплуатации и при строительстве всех типов зданий; систем водонагрева в домашних хозяйствах; цепочек поставок продовольствия и перерабатывающих предприятий; прямого использования энергии транспортными средствами и энергии, необходимой для производства транспортных средств и транспортной инфраструктуры; а также для энергоемкости производства инфраструктуры возобновляемых источников энергии. Наибольший вклад в этот рост относительно уровней DLE внесли такие сектора, как передвижение, жилые дома и здравоохранение. Рост в других секторах менее значителен в абсолютном выражении.

Когда условия сценариев HD и LAT применяются вместе в рамках одной модели (HD-LAT), усредненное по миру потребление энергии возрастает до ~40 ГДж/человека, что превышает 32 ГДж/человека, рассчитанные Goldemberg et al. (1985). Однако даже этот сценарий дает чуть менее 400 ЭДж конечного потребления энергии в мире в 2050 году, что соответствует Сценарию Устойчивого Развития МЭА (рис. 2).

Обратите внимание, что результаты этих сценариев похожи на результаты теста на чувствительность, который мы приводим в «Дополнительных материалах». Там, при изменении наших предположений о параметрах видов деятельности, - увеличении площади жилых и общественных зданий (на 100% и 50%, соответственно), потребления

продуктов животного происхождения и общего уровня мобильности (на 50%) при снижении доли общественного транспорта и т.д. - DLE остается примерно на том же уровне, что и в сценарии HD. Аналогичным образом, изменение наших допущений о затратах повышает DLE до уровня, аналогичного сценарию LAT. Мы отсылаем читателя к Дополнительным материалам для получения информации о чувствительности к отдельным параметрам.

5. Обсуждение и выводы

Какие выводы можно сделать из этих результатов? Во-первых, мы можем повторить то, что уже было предложено множеством других авторов: высококачественное жилье с низким энергопотреблением, широкое распространение общественного транспорта и рацион с низким содержанием продуктов животного происхождения — это глобально важные вопросы для достижения целей устойчивого развития. Другими словами, решения, связанные со спросом, являются неотъемлемой частью того, чтобы оставаться в пределах планетарных границ (Creutzig et al., 2018). Тем не менее, перспективы данной работы - глобальные, масштабные, и она сосредоточена исключительно на конечном потреблении энергии. Таким образом, полученные результаты малопригодны для руководства конкретными локальными и национальными действиями по эффективному и целостному снижению экологического воздействия. Следовательно, дальнейшая работа с применением моделирования «снизу вверх» в конкретных местных условиях - по примеру Rao et al. (2019) - была бы ценной. Чтобы предложить, где потребление может быть сокращено наиболее эффективно, было бы полезно взять текущие данные о потреблении энергии и провести различие между роскошным, расточительным и достаточным потреблением (Gough, 2017; Shue, 1993) - с разбивкой последнего на категории потребления, основанные на потребностях, и с учётом компромиссов и синергии между аспектами социальной и экологической устойчивости.

В настоящей работе даются ответы на более общие вопросы. Чтобы избежать катастрофического экологического коллапса, очевидно, что радикальные и сложные преобразования в обществе должны происходить на всех уровнях, от индивидуального до институционального, от предложения до спроса. С точки зрения энергопотребления, наша работа предполагает, что решение этих задач теоретически не исключает повсеместного распространения достойного уровня жизни на население численностью ~10 миллиардов человек. Достойный уровень жизни, конечно, является субъективным понятием в общественном дискурсе. Однако данная работа предлагает ответ на клишированное популистское возражение, что экологи предлагают нам вернуться к жизни в пещерах. В ответ можно сказать примерно следующее: «Да, возможно, но в этих пещерах есть высокоэффективное оборудование для приготовления пищи, хранения продуктов и стирки одежды; освещение с низким энергопотреблением; 50 л чистой воды в день на человека, 15 л подогревается до комфортной температуры для купания; температура воздуха поддерживается на уровне 20 °C в течение всего года, независимо от географии; имеется компьютер с доступом к глобальным информационным компьютерным сетям; пещеры связаны между собой обширными транспортными сетями, обеспечивающими ~5000-15000 км передвижения на человека в год при помощи различных видов транспорта; а также обслуживаются значительно более крупными пещерами, где доступно всеобщее здравоохранение, и другими, обеспечивающими образование для всех в возрасте от 5 до 19 лет». И в то же время, возможно, значительно сократится часть жизни, которую люди должны тратить на работу.

Однако в данной работе полностью обойден самый сложный вопрос: "Как мы можем перейти от нынешней глобальной ситуации огромного неравенства, избыточного и неэффективного использования энергии к ситуации, когда достойный уровень жизни обеспечивается повсеместно и эффективно (Pirgmaier, 2020)?" В данной работе мало конкретики, но есть вещи, которые можно сказать с большей уверенностью. Хотя

технологический прогресс и изменения на индивидуальном уровне являются важнейшими составляющими решения проблемы экологической катастрофы, компромиссные предложения политиков, такие как «зеленый рост» и «зеленый консьюмеризм», неадекватны (Bailey et al., 2011; WEBB, 2012). Идеалы достаточности, материального порога и экономического равенства, лежащие в основе нынешнего моделирования, несовместимы с экономическими нормами настоящего времени, где безработица и огромное неравенство являются системными требованиями, отходы часто считаются экономически эффективными (из-за защиты бренда, запланированного устаревания и т. д.), а бесконечное стремление к экономическому росту необходимо для политической и экономической стабильности.

Нельзя недооценивать трудности, связанные с изменением этой траектории (Семенюк и Яковенко, 2020). В странах "глобального Севера" прослеживается тенденция снижения уровня потребления, например, общественные движения минимализма и *Transition Towns* – обеспечения местной самодостаточности, но всё это характерно для среднего класса и белых, и является скорее исключением, чем нормой, в мировых масштабах (Aiken, 2012). На "глобальном Юге" потребление высших классов вышло далеко за пределы уровня достаточности, в то время как сотни миллионов людей живут в нищете. В связи с этим перед будущими исследователями встают важнейшие вопросы: "Какого рода политическая экономика могла бы создать мир с низким уровнем потребления, высоким уровнем жизни и уровнем равенства, которого требует их достижение? Какая культура примет и поддержит необходимую политику и институты? Где, начиная с индивидуального и заканчивая институциональным уровнем, находятся потенциальные точки опоры для продвижения к таким изменениям (Pirgmaier, 2020; Brand-Correa et al., 2020)?"

И это, не говоря уже о том, что обеспечение рассмотренного нами материального уровня жизни не гарантирует, что каждый человек будет жить хорошо. Многие другие факторы могут негативно и неизбежно влиять на физическое и психическое здоровье; как отмечали философы на протяжении тысячелетий - вплоть до Будды и далее - даже при высоком материальном уровне жизни благополучие человека может быть недостижимым.

Однако, чтобы закончить более позитивно, сравнение нашей оценки энергии, необходимой для достойной жизни, с прогнозами поставок энергии из неископаемых источников дает основания для оптимизма. В настоящее время только 17 % мирового конечного потребления энергии приходится на неископаемые источники (IEA, 2019a). Но в абсолютном выражении это почти 70 ЭДж, а значит, почти 50% от нашей оценки DLE на 2050 год в 149 ЭДж. Действительно, к 2050 году, даже в сценарии МЭА «Утвержденная политика», ~130 ЭДж конечной энергии обеспечивается неископаемыми источниками - очень близко к требованию DLE в 149 ЭДж. Тот факт, что неископаемые источники энергии могут удовлетворить наши потребности в DLE даже в рамках сценария обычного развития, очень важен.

В целом, данная работа согласуется с давно известными аргументами о том, что экономические и социально-политические изменения, необходимые для решения масштабных экологических проблем, огромны, а технологические решения уже существуют. Мы добавляем, что материальные жертвы теоретически гораздо меньше, чем предполагается во многих популярных рассказах. И совсем наоборот - жизнь ~4 миллиардов человек, живущих в настоящее время в бедности (то есть менее чем на 7,40 долларов в день по ППС), по идее, может быть существенно улучшена.

CRedit Заявление об авторском вкладе

Джозла Милворда-Хопкинса: Концептуализация, Методология, Программное обеспечение, Формальный анализ, Написание - первоначальный проект. **Джулия К. Стейнбергер:** Концептуализация, методология, написание - рецензирование и редактирование. **Нарасимха Д. Рао:** концептуализация, методология, написание -

рецензирование и редактирование. **Янник Освальд**: Методология, Программное обеспечение, Написание - просмотр и редактирование.

Декларация о конкурирующих интересах

Авторы заявляют, что у них нет известных конкурирующих финансовых интересов или личных отношений, которые могли бы повлиять на работу, представленную в данной статье.

Благодарности

JMН, YO и JKS получили поддержку от Leverhulme Trust в виде премии за лидерство в исследованиях для проекта Джулии Стейнбергер «Жизнь в пределах нормы» (LiLi) (RL2016-048). Мы благодарим остальных членов команды и, в частности, Яна Гофа за бесценные обсуждения, а также за отзывы анонимных рецензентов».

Список литературы

- Akenji, L., Lettenmeier, M., Koide, R., Toiviq, V., Amellina, A., 2019. 15-degree Lifestyles: Targets and Options for Reducing Lifestyle Carbon Footprints. Institute for Global Environmental Strategies.
- Alessio, M., Jihoon, M., Arkaitz, U.-L., Narishima, R., 2020. A framework for modelling consumption-based energy demand and emissions pathways. *Environ. Sci. Technol.* 54, 1799–1807.
- Arto, I., Capellán-Pérez, I., Lago, R., Bueno, G., Bermejo, R., 2016. The energy requirements of a developed world. *Energy Sustainable Dev.* 33, 1–13.
- Ayres, R.U., Warr, B., 2010. *The Economic Growth Engine: How Energy and Work Drive Material Prosperity*. Edward Elgar Publishing, Cheltenham, UK.
- Brand-Correa, L., Mattioli, G., Lamb, W., Steinberger, J., 2020. Understanding and tackling the escalating energy requirements of need satisfaction. *Sustainability: Sci., Pract. Policy* [in press].
- Brand-Correa, L.I., Martin-Ortega, J., Steinberger, J.K., 2018. Human scale energy services: untangling a ‘golden thread’. *Energy Res. Social Sci.* 38, 178–187.
- Brand-Correa, L.I., Steinberger, J.K., 2017. A Framework for decoupling human need satisfaction from energy use. *Ecol. Econ.* 141, 43–52.
- Brockway, P.E., Owen, A., Brand-Correa, L.I., Hardt, L., 2019. Estimation of global finalstage energy-return-on-investment for fossil fuels with comparison to renewable energy sources. *Nat. Energy* 4, 612–621.
- Brockway, P.E., Saunders, H., Heun, M.K., Foxon, T.J., Steinberger, J.K., Barrett, J.R., Sorrell, S., 2017. Energy rebound as a potential threat to a low-carbon future: findings from a new exergy-based national-level rebound approach. *Energies* 10, 1–24.
- Büchs, M., Koch, M., 2019. Challenges for the degrowth transition: the debate about wellbeing. *Futures* 105, 155–165.
- Burger, J.R., Fristoe, T.S., 2018. Hunter-gatherer populations inform modern ecology. *Proc. Natl. Acad. Sci.* 115, 1137–1139.
- Creutzig, F., Roy, J., Lamb, W.F., Azevedo, I.M.L., Bruine De Bruin, W., Dalkmann, H., Edelenbosch, O.Y., Geels, F.W., Grubler, A., Hepburn, C., Hertwich, E.G., Khosla, R., Mattauch, L., Minx, J.C., Ramakrishnan, A., Rao, N.D., Steinberger, J.K., Tavoni, M., Ürge-Vorsatz, D., Weber, E.U., 2018. Towards demand-side solutions for mitigating climate change. *Nat. Clim. Change* 8, 260–263.
- Cullen, J.M., Allwood, J.M., Borgstein, E.H., 2011. Reducing energy demand: what are the practical limits? *Environ. Sci. Technol.* 45, 1711–1718.
- Day, R., Walker, G., Simcock, N., 2016. Conceptualising energy use and energy poverty using a capabilities framework. *Energy Policy* 93, 255–264.
- Diamond, J., 2010. *The Worst Mistake in the History of the Human Race*. Oplonanax

Publishing.

Dietz, T., Rosa, E.A., York, R., 2012. Environmentally efficient well-being: is there a Kuznets curve? *Appl. Geogr.* 32, 21–28.

Doyal, L., Gough, I. (Eds.), 1991. *A Theory of Human Need*. Macmillan Education UK, London.

Easterlin, R.A., 2017. Paradox Lost? *Rev. Behav. Econ.* 4, 311–339.

Fanning, A.L., O'Neill, D.W., 2019. The Wellbeing-Consumption paradox: happiness, health, income, and carbon emissions in growing versus non-growing economies. *J. Cleaner Prod.* 212, 810–821.

Fry, J., Lenzen, M., Jin, Y., Wakiyama, T., Baynes, T., Wiedmann, T., Malik, A., Chen, G., Wang, Y., Geschke, A., Schandl, H., 2018. Assessing carbon footprints of cities under limited information. *J. Cleaner Prod.* 176, 1254–1270.

GBPN, 2012. *Tool for Building Energy Performance Scenarios*. Centre for Climate Change and Sustainable Energy Policy (3CSEP). Central European University.

GEA 2012. *Global Energy Assessment - Toward a Sustainable Future*, Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA and the International Institute for Applied Systems Analysis, Laxenburg, Austria.

Geels, F.W., 2013. The impact of the financial-economic crisis on sustainability transitions: financial investment, governance and public discourse. *Environ. Innov. Societal Transitions* 6, 67–95.

Givens, J.E., 2018. Ecologically unequal exchange and the carbon intensity of well-being, 1990–2011. *Environ. Sociol.* 4, 311–324.

Goldemberg, J., Johansson, T.B., Amulya, K.N.R., Williams, R.H., 1985. Basic needs and much more with one Kilowatt per Capita. *Ambio* 14, 190–200.

Gough, I., 2015. Climate change and sustainable welfare: the centrality of human needs. *Camb. J. Econ.* 39, 1191–1214.

Gough, I., 2017. Recomposing consumption: defining necessities for sustainable and equitable well-being. *Philos. Trans. R. Soc. A* 375, 20160379.

Greene, J., Cohen, J., 2004. For the law, neuroscience changes nothing and everything. *J. Philos. Trans. R. Soc. London Ser. B: Biol. Sci.* 359, 1775–1785.

Grubler, A., Wilson, C., Bento, N., Boza-Kiss, B., Krey, V., Mccollum, D.L., Rao, N.D., Riahi, K., Rogelj, J., De Stercke, S., Cullen, J., Frank, S., Fricko, O., Guo, F., Gidden, M., Havlik, P., Huppmann, D., Kiesewetter, G., Rafaj, P., Schoepp, W., Valin, H., 2018. A low energy demand scenario for meeting the 1.5 °C target and sustainable development goals without negative emission technologies. *Nat. Energy* 3, 515–527.

Grunewald, N., Klasen, S., Martínez-Zarzoso, I., Muris, C., 2017. The trade-off between income inequality and carbon dioxide emissions. *Ecol. Econ.* 142, 249–256.

Haberl, H., Fischer-Kowalski, M., Krausmann, F., Martinez-Alier, J., Winiwarter, V., 2011. A socio-metabolic transition towards sustainability? Challenges for another Great Transformation. *Sustainable Dev.* 19, 1–14.

Harari, Y.N., 2016. *Sapiens: A Brief History of Humankind*. Harvill Seker, London.

Helmut, H., Dominik, W., Doris, V., Gerald, K., Barbara, P., Paul, B., Tomer, F., Daniel, H., Fridolin, P.K., Bartholomäus, L.-G., Andreas, M., Melanie, P., Anke, S., Tânia, S., Jan, S., Felix, C., 2020. A systematic review of the evidence on decoupling of GDP, resource use and GHG emissions, part II: synthesizing the insights. *Environ. Res. Lett.* 15.

Hubacek, K., Baiocchi, G., Feng, K., Muñoz Castillo, R., Sun, L., Xue, J., 2017. Global carbon inequality. *Energy, Ecol. Environ.* 2, 361–369.

IEA, 2019a. *World Energy Outlook 2019*. OECD/IEA, Paris.

IEA, 2019b. *Key World Energy Statistics 2019*. OECD/IEA, Paris, France.

IPCC, 2018. *Global Warming of 1.5 Degrees*. World Meteorological Association, Geneva.

Jackson, T., 2005. Live better by consuming less?: is there a “double dividend” in sustainable

consumption? *J. Ind. Ecol.* 9, 19–36.

Jackson, T., Marks, N., 1999. Consumption, sustainable welfare and human needs—with reference to UK expenditure patterns between 1954 and 1994. *Ecol. Econ.* 28, 421–441.

Jorgenson, A.K., 2014. Economic development and the carbon intensity of human wellbeing. *Nat. Clim. Change* 4, 186.

Jorgenson, A.K., 2015. Inequality and the carbon intensity of human well-being. *J. Environ. Stud. Sci.* 5, 277–282.

Jorgenson, A.K., Alekseyko, A., Giedraitis, V., 2014. Energy consumption, human wellbeing and economic development in central and eastern European nations: a cautionary tale of sustainability. *Energy Policy* 66, 419–427.

Jorgenson, A.K., Dietz, T., 2015. Economic growth does not reduce the ecological intensity of human well-being. *Sustainably Sci.* 10, 149–156.

Jorgenson, A.K., Givens, J., 2015. The changing effect of economic development on the consumption-based carbon intensity of well-being, 1990–2008. *PLoS ONE* 10, e0123920.

Kalt, G., Wiedenhofer, D., Görg, C., Haberl, H., 2019. Conceptualizing energy services: a review of energy and well-being along the Energy Service Cascade. *Energy Res. Social Sci.* 53, 47–58.

Knight, K.W., Rosa, E.A., 2011. The environmental efficiency of well-being: a cross-national analysis. *Soc. Sci. Res.* 40, 931–949.

Lamb, W.F., 2016. Which countries avoid carbon-intensive development? *J. Cleaner Prod.* 131, 523–533.

Lamb, W.F., Rao, N.D., 2015. Human development in a climate-constrained world: what the past says about the future. *Global Environ. Change* 33, 14–22.

Lamb, W.F., Steinberger, J.K., 2017. Human well-being and climate change mitigation. *Wiley Interdiscip. Rev. Clim. Change* 8, e485.

Lamb, W.F., Steinberger, J.K., Bows-Larkin, A., Peters, G.P., Roberts, J.T., Wood, F.R., 2014. Transitions in pathways of human development and carbon emissions. *Environ. Res. Lett.* 9, 014011.

Larsen, C.S., 2006. The agricultural revolution as environmental catastrophe: implications for health and lifestyle in the Holocene. *Quat. Int.* 150, 12–20.

Le Quéré, C., Jackson, R.B., Jones, M.W., Smith, A.J.P., Abernethy, S., Andrew, R.M., De-Gol, A.J., Willis, D.R., Shan, Y., Canadell, J.G., Friedlingstein, P., Creutzig, F., Peters, G.P., 2020. Temporary reduction in daily global CO₂ emissions during the COVID-19 forced confinement. *Nature. Clim. Change*.

Martínez, D.M., Ebenhack, B.W., 2008. Understanding the role of energy consumption in human development through the use of saturation phenomena. *Energy Policy* 36, 1430–1435.

Max-Neef, M., 1995. Economic growth and quality of life: a threshold hypothesis. *Ecol. Econ.* 15, 115–118.

Mayer, A., 2017. Democratic institutions and the energy intensity of well-being: a crossnational study. *Energy, Sustainability and Society* 7, 36.

Mundaca, L., Ürge-Vorsatz, D., Wilson, C., 2019. Demand-side approaches for limiting global warming to 1.5 °C. *Energy Effic.* 12, 343–362.

O’neill, J., 2008. Happiness and the Good Life. *Environ. Values* 17, 125–144.

O’neill, D.W., Fanning, A.L., Lamb, W.F., Steinberger, J.K., 2018. A good life for all within planetary boundaries. *Nat. Sustainability* 1, 88–95.

Oswald, Y., Owen, A., Steinberger, J., 2020. Large inequality in international and intranational energy footprints between income groups and across consumption categories. *Nat. Energy* 5, 231–239.

Peeters, P., Middel, J., Hoolhorst, A., 2005. Fuel Efficiency of Commercial Aircraft: An

Overview of Historical and Future Trends. National Aerospace Laboratory, the Netherlands.

Peters, G.P., 2008. From production-based to consumption-based national emission inventories. *Ecol. Econ.* 65, 13–23.

Peters, G.P., Minx, J.C., Weber, C.L., Edenhofer, O., 2011. Growth in emission transfers via international trade from 1990 to 2008. In: *Proc. Natl. Acad. Sci.* 108. pp. 8903–8908.

Pirgmaier, E. 2020. Consumption corridors, capitalism and social change. [Forthcoming].

Rao, N.D., Baer, P., 2012. “Decent Living” emissions: a conceptual framework. *Sustainability* 4, 656–681.

Rao, N.D., Min, J., 2018a. Decent living standards: material prerequisites for human wellbeing. *Soc. Indic. Res.* 138, 225–244.

Rao, N.D., Min, J., 2018b. Less global inequality can improve climate outcomes. *Wiley Interdiscip. Rev.: Clim. Change* 9, e513.

Rao, N.D., Min, J., Mastrucci, A., 2019. Energy requirements for decent living in India, Brazil and South Africa. *Nat. Energy* 4 (12), 1025–1032.

Sakai, M., Brockway, P.E., Barrett, J.R., Taylor, P.G., 2018. Thermodynamic Efficiency Gains and their role as a key ‘Engine of Economic Growth’. *Energies* 12, 110.

Semieniuk, G., Yakovenko, V.M., 2020. Historical evolution of global inequality in carbon emissions and footprints versus redistributive scenarios. *J. Cleaner Prod.* 264, 121420.

Shue, H., 1993. Subsistence emissions and luxury emissions. *Law Policy* 15, 39–60.

Smil, V., 2005. *Energy at the Crossroads: Global Perspectives and Uncertainties*. MIT press, Boston.

Smil, V., 2017. *Energy and Civilization: A History*. MIT Press, Boston.

Steffen, W., Richardson, K., Rockström, J., Cornell, S.E., Fetzer, I., Bennett, E.M., Biggs, R., Carpenter, S.R., De Vries, W., De Wit, C.A., Folke, C., Gerten, D., Heinke, J., Mace, G.M., Persson, L.M., Ramanathan, V., Reyers, B., Sörlin, S., 2015. Planetary boundaries: guiding human development on a changing planet. *Science* 347, 1259855.

Steinberger, J.K., Roberts, J.T., 2010. From constraint to sufficiency: the decoupling of energy and carbon from human needs, 1975–2005. *Ecol. Econ.* 70, 425–433.

Steinberger, J.K., Roberts, J.T., Peters, G.P., Baiocchi, G., 2012. Pathways of human development and carbon emissions embodied in trade. *Nat. Clim. Change* 2, 81–85.

Teixido-Figueras, J., Steinberger, J., Krausmann, F., Haberl, H., Wiedmann, T., Peters, G., Duro, J., Kastner, T., 2016. International inequality of environmental pressures: decomposition and comparative analysis. *Ecol. Ind.* 62, 163–173.

Wackernagel, M., Rees, W., 1998. *Our Ecological Footprint: Reducing Human Impact on the Earth*. New society publishers, BC.

Wengrow, D., Graeber, D., 2015. Farewell to the ‘childhood of man’: ritual, seasonality, and the origins of inequality. *J. R. Anthropol. Inst.* 21, 597–619.

Wiedmann, T., Lenzen, M., Keyßer, L.T., Steinberger, J.K., 2020. Scientists’ warning on affluence. *Nat. Commun.* 11, 3107.

Aiken, G., 2012. Community transitions to low carbon futures in the Transition Towns Network (TTN). *Geogr. Compass* 6, 89–99.

Bailey, I., Gouldson, A., Newell, P., 2011. Ecological modernisation and the governance of carbon: a critical analysis. *Antipode* 43, 682–703.

Webb, J., 2012. Climate change and society: the chimera of behaviour change technologies. *Sociology* 46, 109–125.