

От вопроса кто виноват к вопросу что делать.

Руслан Шарипов

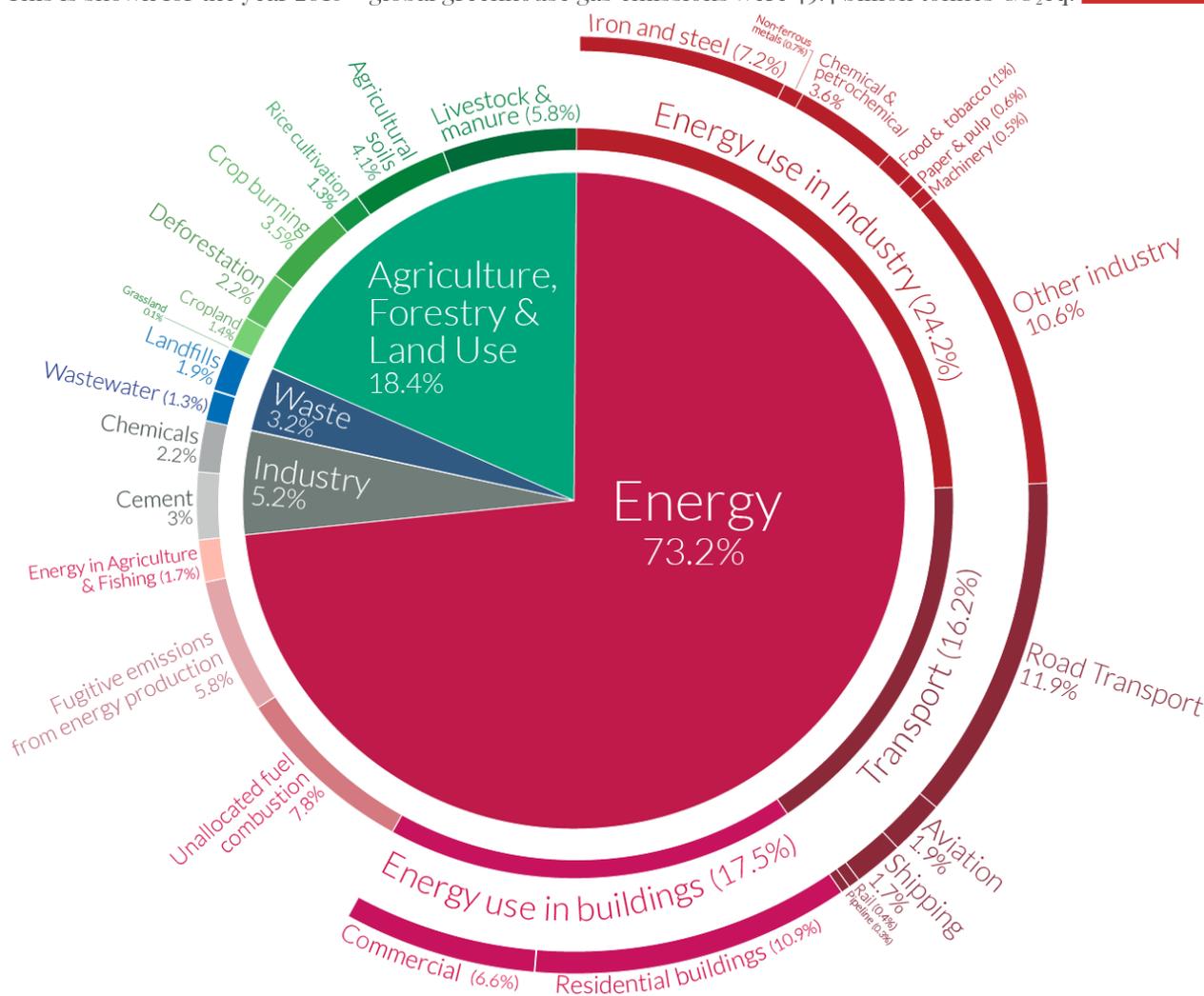
Под впечатлением и по мотивам доклада Анатолия Москалёва о причинах и масштабах глобального изменения климата на заседании Zoom-клуба ФОПФ-1977 Андрея Голова от 23.05.2021 и комментариев к нему.

Прослушав замечательный во всех отношениях доклад и прозвучавшие после него комментарии в записи, я понял, что признаётся доказанным на основе прямых измерений, что причиной происходящего сейчас увеличения средней температуры на Земле со скоростью 0.3 градуса в год является антропогенный фактор, заключающийся в выбросах парниковых газов. В докладе обсуждался CO₂ как главный из них на данный момент. Я не

Global greenhouse gas emissions by sector

Our World
in Data

This is shown for the year 2016 – global greenhouse gas emissions were 49.4 billion tonnes CO₂eq.



OurWorldinData.org – Research and data to make progress against the world's largest problems.

Source: Climate Watch, the World Resources Institute (2020).

Licensed under CC-BY by the author Hannah Ritchie (2020).

Рис. 1. Распределение выбросов парниковых газов по секторам экономики.

нашёл в точности той диаграммы распределения выбросов CO₂ по секторам экономики, которая демонстрировалась в докладе, поэтому беру такую диаграмму с сайта Our World in

Data (<https://ourworldindata.org/emissions-by-sector>). Большой красный сектор обозначен словом Energy. Это потребление энергоносителей, то есть сжигание различных топлив. Большая часть из этих топлив — это невозобновляемые ископаемые углеводороды и угли. Если заменить их возобновляемыми топливами, то есть производимыми из растительной биомассы, то на 73.2 % проблема будет решена.

1. Хватит ли биомассы.

По данным из [Википедии](#) общее количество биомассы на планете оценивается в 550 миллиардов тонн углерода, при этом ежегодное производство биомассы из атмосферного и растворённого в океанах CO₂ оценивается в 100 миллиардов тонн углерода. По данным из той же [Википедии](#) из 550 миллиардов тонн общей биомассы на океаны приходится только от 5 до 10 миллиардов тонн. Остальная биомасса на суше, что делает её доступнее для нас. [Википедия](#) также даёт распределение ежегодно вновь производимой биомассы по территориям. Из приведённых там данных

в тропических лесах 16 миллиардов тонн в год,

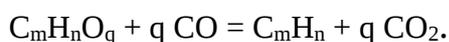
в лесах умеренного климата 24 миллиарда тонн в год,

в сельскохозяйственных землях 11 миллиардов тонн в год.

По данным с сайта Our World in Data (<https://ourworldindata.org/greenhouse-gas-emissions>) сегодня выбросы CO₂ составляют 50 миллиардов тонн. В пересчёте на чистый углерод — это примерно 16 миллиардов тонн в год. То есть цифры сопоставимые. Но объём ежегодно производимой в доступных нам территориях биомассы всё же больше наших выбросов. Необходимо лишь организовать её сбор и конверсию в привычные для нашего потребления виды топлива.

2. Технология конверсии — восстановительный пиролиз и высокотемпературный гидролиз.

Углерод в биомассе любого происхождения находится в частично окисленном состоянии. В белках, в жирах и в углеводах присутствует кислород, в то время как в углеводородном топливе из ископаемых источников кислорода нет. Удаление кислорода из биомассы — это процесс, противоположный окислению, в химии он называется восстановлением. Использование каких-либо специфических реагентов для данного процесса представляется затруднительным ввиду разнообразия форм сырья и огромных объёмов, которые требуется переработать. Имеется неспецифический способ удаления кислорода — это пиролиз. Пиролиз — это нагрев до высоких температур без доступа кислорода извне. Для пиролиза древесины [Википедия](#) указывает температуры 450-500°C. Для других видов биомассы следует ожидать температур, близких к этим. Недостаток простого пиролиза в том, что образуется множество разнообразных и неудобных в качестве топлива веществ. Для пиролиза древесины [Википедия](#) указывает метиловый спирт, уксусную кислоту, ацетон, фуран, жидкие и пастообразные смолы и древесный уголь. Поэтому я предлагаю заменить классический пиролиз на **восстановительный пиролиз** и **высокотемпературный гидролиз** при помощи водяного пара. Для обсуждения этого предложения с химиками есть топик «[Восстановительный пиролиз целлюлозы взамен биодизелю](#)» на форуме <https://forum.xumuk.ru>. Суть предложения в том, чтобы производить пиролиз в атмосфере восстанавливающего газа, в качестве которого практически без альтернатив подходит монооксид углерода CO. Производить монооксид углерода можно из той же биомассы путём её сжигания в условиях ограниченной подачи кислорода. Брутто формула реакции восстановительного пиролиза в идеале записывается так:



Из-за наличия белков в биомассе в эту идеализированную формулу надо приписать азот и серу. Но доля белков в растительной биомассе невелика. В процессе восстановительного пиролиза неизбежно производится углекислый газ. Это плата за получение комфортных видов топлива. Не метанола, смол и угля, а углеводородов. К тому же если монооксид углерода производится из той же биомассы, то образующийся углекислый газ будет обратным. Он вновь конвертируется в биомассу растениями.

Высокотемпературный гидролиз нужен для того, чтобы в продуктах реакции было больше низкомолекулярных углеводородов и не было угля и смол. Гидролиз — это добавление воды в молекулу вещества, после которого она разваливается на две меньшие молекулы. Гидролизу подвержены все типовые составляющие биомассы. Из белков получают аминокислоты, из углеводов — простые сахара, из жиров — жирные кислоты и глицерин.

В какой форме производить высокотемпературный гидролиз биомассы, в одном процессе с восстановительным пиролизом или в двух отдельных процессах, — это уже вопрос отработки технологии. Решается экспериментально.

3. Осаждение парниковых газов из атмосферы.

Этот пункт можно воспринимать как курьёзный. Если возникла ситуация, когда надо не просто ограничить выбросы парниковых газов, а изъять из атмосферы уже выброшенное, то как это сделать? Нужно выбросить в атмосферу газ, который бы мог образовать химическую связь с парниковыми газами и произвести более тяжелое соединение, которое в нормальных условиях было бы жидкостью или твердым телом. В качестве такого газа осадителя предлагается ацетилен C_2H_2 . Для него я написал следующие реакции

- 1) $C_2H_2 + CO_2 = C_3H_2O_2$ ([пропиоловая кислота](#));
- 2) $C_2H_2 + 2 CO_2 = C_4H_4O_4$ ([бутиндиовая кислота](#));
- 3) $C_2H_2 + CH_4 = C_3H_6$ ([пропилен](#));
- 4) $C_2H_2 + 2 CH_4 = C_4H_{10}$ ([бутан](#));
- 5) $C_2H_2 + O_3 = C_2H_2O_3$ ([глиоксиловая кислота](#));
- 6) $C_2H_2 + N_2O = C_2H_2N_2O$ ([оксадиазолы](#));
- 7) $C_2H_2 + CH_3F = C_3H_5F$ (фторпропен);
- 8) $C_2H_2 + 2 CH_3F = C_3H_8F_2$ (дифторбутан)

и отдал их на растерзание химикам в топике [«Может ли ацетилен осаждавать парниковые газы из атмосферы»](#) на форуме <https://forum.xumuk.ru>. Будут ли такие реакции фактически происходить — я не знаю.

4. Чем заменить цемент?

В диаграмме на рисунке 1 производство цемента выделено в отдельный сегмент. Оно отвечает за 3 процента выбросов, поскольку при производстве цемента происходит обжиг клинкера, содержащего известняк — карбонат кальция. При обжиге карбонат превращается в оксид и выделяется углекислый, зафиксированный в нём ещё во времена доисторических морей и океанов. Изменить технологию производства цемента сложно. Проще поставить вопрос о том, можно ли без него обойтись в строительстве. Цемент служит связующим компонентом при производстве бетона. Помимо цемента в бетон входит песко-гравийная смесь ПГС. Я сам готовил бетон по рецептуре 1 ведро цемента, 3 ведра ПГС и 1 ведро воды. Цемент в бетоне можно заменить органическим связующим веществом. В качестве примера такого компаунда хорошо известен асфальт. В нём связующим веществом является битум. Асфальт гораздо менее прочен, чем застывший бетон. Но этот недостаток можно устранить,

если выбрать связующее вещество, способное к полимеризации. В принципе, в полимер-песчаный композит можно добавлять измельченный карбонат кальция (строительный мел), не подвергая его обжигу. Полимеры плохо держат нагрузку на сжатие. Такую нагрузку в полимер-песчаном композите будет держать минеральный наполнитель, то есть песок и гравий и возможно измельченный мел. Но полимеры хорошо держат нагрузку на растяжение. В этом некоторые из них на порядок превосходят сталь. Поэтому при определённых условиях балки из полимер-песчаного композита могли бы производиться без стальной арматуры внутри и быть ничуть ни хуже бетонных со стальной арматурой.

5. Как производить соду.

Еще один сегмент в диаграмме на рисунке 1 обозначен как Chemicals. Он даёт 2.2% выбросов парниковых газов. В это раздел входят разнообразные моющие средства, в рецептуре которых имеется сода (гидрокарбонат кальция) либо кальцинированная сода (карбонат кальция). Сода производится по [методу Сольве](#), который был запатентован ещё в 1861 году. Необходимый для получения соды углекислый газ извлекают из известняка. А натрий берут из хлорида натрия. В качестве вспомогательного реагента используется аммиак. Он вертится в производственном цикле, а в качестве побочного продукта (отхода) образуется хлорид кальция, который накапливается в прудах-отстойниках и постепенно сливается в реки. С этим процессом связан недавний конфликт вокруг Башкирской содовой компании — крупнейшего производителя соды в России. За несколько десятилетий с 1950-х годов компания съела целую известняковую гору Шахтау, образовав на её месте глубокий карьер, и вознамерилась съесть вторую гору Куштау.

В наше время углекислый газ для соды можно было бы получать просто сжигая природный газ метан и получая при этом попутно тепловую энергию. При этом аммиак уже не будет вертеться в цикле, а будет уходить из цикла в форме хлорида аммония. Хлорид аммония гораздо более экологичен, чем хлорид кальция. В каком-то смысле это азотное удобрение для растений. Воду с растворённым в ней хлоридом аммония можно рассматривать как аналог морской воды. В такой воде могли бы жить морские водоросли, производя биомассу, и возможно в ней могли бы жить морские рыбы, все или хотя бы некоторые виды из них. Тогда пруды — отстойники возле содовых производств могли бы быть зарыбленными и стать источником товарной рыбы.

Экономический аспект такой реформы содового производства я не просчитывал. Но если идея понравится, можно и расчёты проделать.

6. Холодная металлургия.

В большом красном сегменте, обозначенном словом Energy, имеется подсегмент обозначенный словами Iron and Steel. Он даёт 7.2% выбросов парниковых газов. Железо производится из железных руд, в которых оно содержится в форме окислов и солей. Это окисленная форма железа. Металлическое железо — это его восстановленная форма. Восстановление железа из руд производится в доменном процессе. В доменном процессе железо восстанавливается по горячему монооксидом углерода CO, который образуется при сгорании кокса.

Но железо можно восстанавливать другим способом. Действуя сильной кислотой, например соляной, железо из окислов переводится в растворимые соли — хлориды. Затем следует электролиз в полярном апротонном растворителе. Таким растворителем является например органическая жидкость — пропилен карбонат. При электролизе железо осаждается на катоде. На аноде выделяется хлор, который идёт на производство соляной кислоты, оставаясь в цикле.

Плавка полученного электролизом железа производится лишь на самом последнем этапе при отливке изделий из него. Наличие или отсутствие выбросов углекислого газа при

электролизной наработке железа зависит лишь от того, каким способом получена электроэнергия. Если она с атомных электростанций или с ветряков, то выбросы равны нулю.