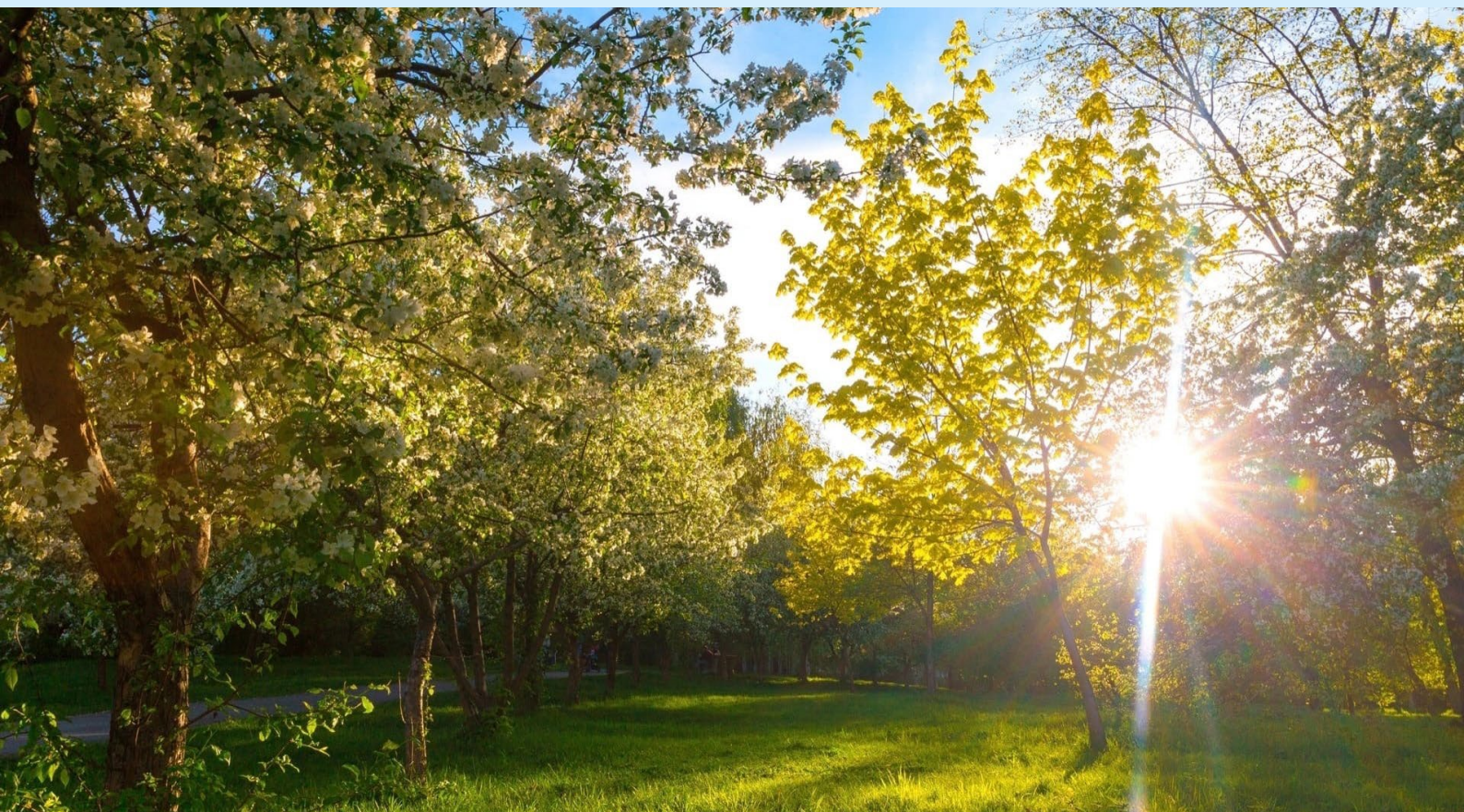


ДАЙДЖЕСТ
Уральского государственного университета
путей сообщения

Зеленые вузы: мировые практики.
Способы достижения углеродной
нейтральности



Содержание

Зарубежные вузы, которые борются с климатическими изменениями.....	3
Вузы с зеленым профилем	6
10 самых зеленых высших учебных заведений США	8
Физики из Гарварда удешевили процесс улавливания CO ₂ из атмосферы.....	11
Самый зеленый университет в мире	13
Экологические технологии в проектировании современных университетских кампусов	17
Корпоративные стратегии углеродной нейтральности	31
Улавливание, использование и хранение углерода	46

Зарубежные вузы, которые борются с климатическими изменениями

Даже если вы хотя бы изредка просматриваете новостную ленту, вы наверняка знаете о проблеме глобального изменения климата, которая стоит перед нашей планетой. Речь идет о шокирующем уровне загрязнения водоемов пластиком и угрожающей скорости повышения температуры. Экстремальные климатические явления становятся все более регулярными, а уровень воды в мировом океане неизменно повышается. Как же можно бороться со всем этим?

Мы расскажем вам о зарубежных университетах, которые вносят действительно важный вклад в борьбу с климатическими изменениями. Многие из них входят в рейтинг самых зеленых и экологических вузов UI GreenMetric World University Ranking 2018.

Если для вас вопросы устойчивого развития так же важны, предлагаем вам узнать о мерах по борьбе с климатиче-

скими изменениями, которые берут на вооружение самые передовые учебные заведения мира.

Вагенингенский университет и научно-исследовательский центр уже два года подряд занимает 1-е место в рейтинге зеленых вузов мира. Это университет с отличными показателями устойчивого развития, он самостоятельно занимается переработкой отходов и очисткой воды. WUR реализует различные проекты в области энергетики, переработки мусора и мобильности, целью которых является снижение влияния на климат.

Университет ежегодно измеряет свой углеродный след и, согласно последним данным, в период с 2010 по 2018 год вуз сократил суммарный объем выбросов вдвое. А еще вуз вырабатывает собственную возобновляемую энергию с помощью ветряных мельниц, солнечных батарей и других методов.



Wageningen University and Research Centre, Голландия

В прошлом году 100 % энергии, потребляемой в кампусе, были получены с помощью устойчивых методов.

University of Nottingham, Великобритания

Ноттингемский университет — это еще один известный зеленый вуз, который активно пропагандирует принципы устойчивого развития в британском обществе. Недавно ученые университета использовали беспилотники для обследования вьющихся древесных растений и лучшего понимания того, как они могут влиять на углеродный баланс тропических лесов.

Учебное заведение всячески прививает своим студентам интерес к экологии. Например, ежемесячно в кампусе проходит соревнование между студенческими жилыми резиденциями «Student Switch Off» — резиденция, студенты из которой сохраняют больше всего энергии и уделяют наибольшее внимание переработке мусора, выигрывают призы и запас мороженого Ben & Jerry! В кампусе также действует кампания WasteNott, направленная на сокращение использования одноразового пластика, например, пластиковых стаканчиков и чашек. Согласно опросам, уже 94% студентов Ноттингемского университета готовы перейти на постоянное использование многоразовых стаканов и кружек. Вуз, в свою очередь, уже заменяет пластиковые трубочки в напитках на бумажные, а кампусные кафетерии предлагают скидку на напитки тем студентам, которые приходят со своими стаканами и кружками.

Shandong Normal University, Китай

Кампус Шаньдунского нормального университета — это первый в Китае кампус с нулевой эмиссией, то есть кампус не выделяет никаких отходов,

загрязняющих окружающую среду или влияющих на климат. Кроме того, вуз является самым зеленым и экологичным учебным заведением всей Азии.

Как и Ноттингемский университет, китайский Шаньдунский нормальный университет достиг большого успеха в создании максимально экологичного и энергосберегающего кампуса. Например, в университете практикуют двухстороннюю печать для снижения потребления бумаги, здесь отказались от пластиковых пакетов и одноразовых стаканчиков. Вуз также сокращает выброс углекислого газа за счет использования солнечных батарей, освещения с сенсором движения, а также переработки, включая переработку старой одежды и книг студентов и сотрудников.

University College Cork, Ирландия

Мы уже упомянули о том, что одна из основных экологических проблем современности — это огромные масштабы пластиковых отходов. Университетский колледж Корк поставил перед собой цель по борьбе именно с этой проблемой. Вуз первым в Ирландии открыл кафе без пластика, которое всего за 3 месяца работы сократило использование одноразовых пластиковых предметов в стране на 20 000 единиц.

Университетский колледж Корк входит в топ-10 зеленых вузов мира, он также стал первым вузом Европы, получившим награду «золотая звезда» от Ассоциации по продвижению устойчивого развития в высшем образовании. Данной наградой были отмечены достижения университета в области сокращения пластиковых отходов, выбросов углерода и бумажной печати.

Colorado State University, США

Государственный университет Колорадо широко известен своей привер-

женностью принципам устойчивого развития и имеет «платиновый рейтинг» в рамках системы STARS, измеряющей уровень устойчивого развития в вузах.

Кроме того, вуз был признан самым зеленым учебным заведением в США по версии BestColleges.com. Кампус университета оборудован системой однопоточковой переработки, включает в себя 26 зданий, сертифицированных по стандарту LEED, оборудован точками зарядки электромобилей и многим другим. Важно отметить, что устойчивое развитие играет важную роль не только в обустройстве кампуса университета, но и в подборе учебных программ. Государственный университет Колорадо предлагает студентам сотни программ, так или иначе связанных с устойчивым развитием и охраной окружающей среды.

Université de Sherbrooke, Канада

Франкоязычный Шербрукский университет является самым зеленым университетом Канады. Уже более 40 лет вуз придерживается принципов экологичности, в данный момент учебное заведение придерживается собственного плана устойчивого развития на 2018-2022 годы.

В рейтинге зеленых университетов мира вуз получил лучшие оценки за эффективное расходование энергии и управление климатическими изменениями. Среди грядущих проектов Шербрукского университета – открытие нового солнечного парка, который станет крупнейшим в Канаде центром при-

кладных исследований в области получения и использования солнечной энергии. В организации кампусной жизни вуз также придерживается принципов устойчивого развития. Здесь перерабатывают отходы, пользуются экологически чистым транспортом и принимают многие другие меры по поддержанию экологии.

University of São Paulo, Бразилия

Самым экологичным учебным заведением Южной Америки можно смело назвать бразильский Университет Сан-Паулу. Вуз вошел в рейтинг зеленый рейтинг UI GreenMetric World University Ranking 2018 и получил наивысшие баллы в категории «расположение и инфраструктура». Таким образом рейтинг отметил многочисленные зеленые зоны и растительность в кампусе вуза.

В 2012 году в университете была создана специальная должность старшего управляющего по охране окружающей среды, который занимается разработкой и реализацией различных инициатив в области устойчивого развития. Среди подобных инициатив вуза – программа USP Recicla, в рамках которой университет должен стать примером осознанного потребления и переработки отходов.

Источник: <https://www.hotcourses.ru/study-abroad-info/latest-news/top-green-universities-in-the-world/>

Вузы с зеленым профилем

Места, где Германия учит устойчивости и исследует устойчивость. Познакомьтесь с тремя университетами, которые предлагают идеальные образовательные программы.

Зеленое электричество для университетских зданий, переработка стаканчиков из кафетерия, экологические технологии как предмет: все больше и больше университетов в Германии занимаются устойчивым развитием. Но лишь для некоторых эта тема определяет весь исследовательский профиль. Мы представляем три университета, которые уделяют особое внимание устойчивому развитию – с упором на иностранных студентов.

Экологический кампус Биркенфельд

Экологический кампус Биркенфельд в идиллической долине р. Наэ считается «самым зеленым университетом Германии». Трирский университет прикладных наук занимает первое место среди немецких университетов в международном рейтинге университетов GreenMetric с 2017 года и занимает

6-е место в мире. Кампус был построен в 1996 году с использованием экологически чистых конструкций и энергообеспечения с нулевым выбросом CO₂. Устойчивое развитие проходит «зеленой нитью» через целый ряд курсов. «В экологическом кампусе мы показываем отличный пример того, как можно совместить климатически нейтральные поступки, исследования и обучение», – говорит президент Университета Трира, профессор Дорит Шуман.

Люнебургский университет Leuphana

На факультете устойчивого развития Университета Leuphana студенты учатся рассматривать тему устойчивого развития с разных точек зрения: от экономики, экологии, политики и права до этики, педагогики и даже химии. Все первокурсники работают над проектами по теме устойчивости. «Для нас важно донести полученные в этой области знания до гражданского общества и воплотить их в конкретные проекты», – говорит президент университета профессор Саша Споун.



Столовая в «лесном кампусе» HNE Eberswalde

Университет устойчивого развития Эберсвальде (HNEE)

В самом маленьком университете Бранденбурга все вращается вокруг устойчивости. Студенты HNEE могут выбирать из 20 курсов и специализироваться, например, на органическом земледелии, информационных технологиях в области леса и окружающей среды, устойчи-

вом туризме или охране природы. В октябре 2020 года стартовал не имеющий аналогов в мире междисциплинарный курс «Управление биосферными заповедниками» по управлению и дальнейшему развитию биосферных заповедников.

Источник: <https://www.deutschland.de/ru/topic/znanie/ustoychivost-i-vuzy-tri-primera>

10 самых зеленых высших учебных заведений США

Университеты США оказывают огромное влияние на озеленение нашей планеты, служа примером экологичного развития, производя новаторские исследования в области устойчивого развития, внушая будущим поколениям экологическую ответственность. Журнал Sierra провел исследование, направленное на выявление самых зеленых университетов США за последние 7 лет, сообщает inhabitat.com. Исследование носило комплексный характер, учитывалось все – что подается в столовых, что преподается в аудиториях, как осуществляется энергоснабжение общежитий.



10. Калифорнийский университет в Санта-Барбаре (University of California, Santa Barbara)

44 здания кампуса Калифорнийского университета в Санта-Барбаре имеют LEED сертификаты, и 47 % научных отделов проводят лекции об устойчивом развитии, общее количество курсов – 321, 217 преподавателей заняты экоисследованиями. 50 % пищи, подаваемой в университетских пищеблоках, приготовлено местных продуктов, 75 % пищевых отходов не попадает на свалку благодаря переработке и компостированию. К 2020 году планируется количе-

ство перерабатываемых отходов довести до 100 %. С 1990-х годов университет снизил потребление электроэнергии из сети на треть за счет установки на крышах кампуса 10 солнечных энергосистем, снизил расходы воды на четверть и количество пищевых отходов на 35 %. На территории имеется более чем 10 000 парковочных мест для велосипедов и 10 километров велосипедных дорожек. 94 % студентов выбирают альтернативные средства передвижения, чтобы добраться до учебных корпусов.

9. Американский университет (American University)

Американский университет в Вашингтоне стремится достигнуть нейтрального уровня эмиссии углерода к 2020 году. 30 зданий на территории кампуса находятся на пути к сертификации LEED. Кампус может похвастаться 27-киловаттным солнечным массивом, а также крупнейшей в округе Колумбия солнечной системой горячего водоснабжения. Кроме того, в университете установлено устройство под названием Vegawatt, которое преобразует холодное пищевое растительное масло в электричество. Университет на 2/3 осуществил свою цель 100 % отвлечения отходов от свалки благодаря программе компостирования на всей территории кампуса, системе питания без подносов (trayless dining), которая привела к снижению пищевых отходов на треть, и ежеквартальному сбору электронных отходов. Университет стал победителем прошлогоднего национального конкурса Recycle Mania. Ежегодно в кампусе проводится День благоустройства – весенняя традиция, которая помогает объединить университетское сообщество в деле озеленения кампуса.

8. Технологический институт Джорджии (Georgia Institute of Technology)

Технологический институт Джорджии, расположенный в Атланте, был назван «лучшим местом для пассажиров» благодаря ряду экологически чистых инициатив, включая поочерёдное и совместное использование автомобилей, автобусы с газовыми двигателями, которые перемещают более 2 млн пассажиров в год. Кампус, расположенный на 440 акрах, был назван «кампус деревьев» (Tree Campus USA), так как 25 % его территории занимают деревья. Несмотря на зелёные леса, использование кампусом воды с 2001 года остается неизменным, что является впечатляющим показателем, потому что университет вырос в два раза с тех пор. Каждое здание, построенное с 2008 года, имеет LEED сертификаты. Цистерны с дождевой водой, рассчитанные на 1400000 галлонов, позволяют экономить воду. Кампус с 1996 года занимается утилизацией отходов, отвлекая от свалки 600 тонн мусора ежегодно.

7. Стэнфордский университет (Stanford University)

За последние 5 лет университет собрал более 430 млн долл. для окружающей среды и экологических инициатив. Здесь строится новый энергетический объект, который, как ожидается, уменьшит выбросы CO₂ на 8180-акровой территории кампуса и сократит использование воды почти на 1/5. 130 профессоров из 40 департаментов проводят более 700 курсов по устойчивому развитию, и около 30 студенческих клубов кампуса сфокусированы на устойчивом развитии. В настоящее время 66 % отходов кампуса не попадают на свалки.

6. Green Mountain College

Green Mountain College, возможно, самый маленький колледж в Вермон-

те, но он уделяет огромное внимание устойчивому развитию, его называют «прогрессивным колледжем искусств, придающим особое значение устойчивости окружающей среды». Колледж был одним из первых университетов в США, достигших нулевого воздействия на климат. Колледж является собственником завода, где сжигаются местные древесные отходы, которые на 85 % снабжают два десятка зданий теплом и на 20 % энергией. С 2006 года колледж получает 1200000 кВтч в год от крупного рогатого скота. Студенты посещают местные фермы, чтобы узнать о процессах производства метана из отходов сельскохозяйственного производства.

5. Корнельский университет (Cornell University)

Корнельский университет предлагает 340 курсов по устойчивому развитию, охватывающих почти каждый отдел, и это один из немногих университетов, где вы можете внести минимальный вклад в изменение климата. Университет дал обязательство стать кампусом с нулевым углеродным следом к 2050 году. За последние два года выбросы парниковых газов кампусом сократились на 25 %, а в течение следующих пяти лет 45000000 долл. будет выделено на проекты, направленные на сбережение энергии. Университет уже построил более миллиона квадратных метров, которые не нуждаются в использовании дополнительной энергии. Но кампус площадью 2300 акров больше известен как сохраняющий открытое пространство, включающее 2 потрясающих ущелья, ботанический сад 35 акров и дендрарий 100 акров.

4. Калифорнийский университет в Дэвисе (University of California, Davis)

Калифорнийский университет в Дэвисе стал в прошлом году победителем

конкурса Sierra's Cool Schools winner. Здесь проводятся исследования, которые помогают сформировать водные законы Калифорнии и продвигать новые методы ведения сельского хозяйства. Университет также является домом для Западной деревни – крупнейшего американского сообщества без углеродного следа. Климатический план кампуса помог снизить выбросы до уровня 2000 года. 60 % отходов кампуса не попадает на свалки благодаря переработке, компостированию и повторному использованию. Целью университета является безотходное существование к 2020 году.

3. Университет Калифорнии в Ирвине (University of California, Irvine)

Университет Калифорнии в Ирвине с 2009 года ежегодно экономит 20000000 кВт-ч электроэнергии благодаря 19 мВт комбинированному производству тепловой и электрической энергии и другим энергетическим проектам, таким как солнечная электростанция, которая генерирует достаточную мощность для 500 домов в год. Кампус площадью 1475 акров также может похвастаться ботаническим садом площадью 16 акров. Университет дал обещание, что все новые здания получают по крайней мере серебряные LEED сертификаты. Десятки студенческих клубов сфокусированы на окружающей среде, и кампус поощряет зеленый образ жизни, продвигая, например, в столовых постные понедельники.

2. Дикинсон колледж (Dickinson College)

С 2008 года Дикинсон колледж в городке Карлайл, Пенсильвания, покупает такое количество энергии ветра, которое компенсирует все потребности колледжа в энергии. С 2006 года студен-

ты собирают остатки животного жира в местных ресторанах и превращают его в биодизельное топливо для автопарка кампуса. Колледж планирует достичь нулевых выбросов к 2020 году. Кафетерии кампуса используют продукты собственного производства. Новые здания учебного заведения построены по LEED Gold стандартам. Колледжу удалось сократить расход бумаги на 60 % за последние 4 года.

1. Университет Коннектикута (University of Connecticut)

Университет Коннектикута стал первым в рейтинге зеленых высших учебных заведений США потому, что он предлагает 600 курсов по устойчивому развитию, читаемых наиболее уважаемыми экспертами по устойчивости в мире. 40 % научно-исследовательских кафедр производят оригинальную научную работу, которая приносит пользу окружающей среде. С 2005 года главный кампус в Storrs, Коннектикут, сократил использование воды на 15 %. В течение последних двух лет 13 из его зданий были модернизированы, чтобы избавить кампус от колоссальных 2640 тонн выбросов CO₂ в год. В столовой, устроенной по системе «trayless», 30 % блюд вегетарианские, более чем четверть пищи обрабатывается в пределах 100 миль, причем большая часть производится прямо на территории кампуса. Мед производят на пасеках университета, свежие яйца поступают из отдела сельского хозяйства, сезонные продукты растут в садах, обрабатываемых студентами. Лесной комитет кампуса стремится к созданию более чем 2000 гектаров открытого пространства.

Источник: <http://energy-fresh.ru/energyeffect/?id=7608>

Физики из Гарварда удешевили процесс улавливания CO₂ из атмосферы

Ученые из Гарвардского университета создали новую технологию улавливания углерода из окружающей среды в промышленных масштабах для производства топлива. По мнению разработчиков, методика существенно сократит цену извлеченного углерода до 94–232 долл. за тонну вместо первоначально прогнозируемых 600 долл. Кроме того, технология может придать дополнительный импульс развитию перспективного рынка низкоуглеродистых синтетических видов горючего. Авторы изобретения представили свою разработку в журнале *Joule*. Об этом сообщает портал *Environmental Leader*.

Результаты, достигнутые командой ученых под руководством Дэвида Кита, профессора прикладной физики, основываются на трех годах научно-исследовательской работы и практических испытаниях, проходивших на экспериментальной установке в канадской провинции Британская Колумбия. В роли оператора опытного модуля выступала компания *Carbon Engineering (CE)*, специализирующаяся на продвижении экологически чистой энергетики, соучредителем которой является Дэвид Кит.

CE применяет технологию, известную под названием прямой захват воздуха (от английского *Direct air capture (DAC)*). Система работает за счет интенсивной продувки гигантскими вентиляторами воздуха из окружающей среды через раствор, содержащий химический препарат, который в качестве сорбента поглощает диоксид углерода (CO₂, углекислый газ). После того как углекислота попадает в раствор, опытная установка переводит ее в твердое вещество, при нагревании которого высвобождается поток очищенного CO₂. Ис-

пользованный химический реактив после завершения процесса подлежит переработке. А полученный углекислый газ можно при желании превратить в жидкое топливо.

«Теперь мы располагаем данными и разработками, чтобы доказать, что технология DAC способна достичь цен ниже 100 долл. за тонну», — сказал Дэвид Кит.

Генеральный директор компании CE Стив Олдхэм поясняет, что при такой цене за тонну CO₂ производство из него синтетических видов топлива может обойтись в 1 долл. за литр. Обозначенная стоимость еще достаточно высока в сравнении с существующими на рынке традиционными видами горючего. Но она, как полагают специалисты, уже приближается к тому, чтобы потенциально заинтересовать инвесторов вкладывать значительные суммы в строительство заводов, работающих по технологии DAC. Именно по этой причине синтетические виды топлива с низким содержанием углерода уже становятся реальностью, к примеру, в Калифорнии, американском штате, который своими внутренними законодательными актами стимулирует их производство.

Заводы, действующие по технологии DAC, в перспективе могут не только удалять из атмосферы диоксид углерода, парниковый газ, влияющий на изменения климата, но и вырабатывать из него в том числе и низкоуглеродистое топливо. Его дальнейшее использование приведет к снижению новых выбросов в атмосферу.

Спустя три года после начала работы экспериментального модуля Кит и его коллеги собрали достаточное количество данных для расчета эффектив-

ности установки. Также они проанализировали затраты на строительство полноценного завода с использованием той же технологии. Перспективы открываются неплохие, считают авторы проекта. Но Стив Олдхэм предупреж-

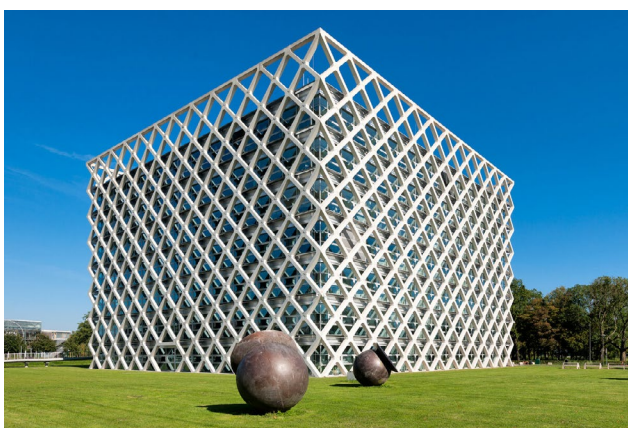
дает, что его компании придется пройти долгий путь, прежде чем технология получит широкое применение.

Источник: <https://tass.ru/plus-one/5296104>

Самый зеленый университет в мире

Хотелось бы вам учиться в красивом месте, есть качественные продукты и дышать чистым воздухом? Экологичность редко становится критерием выбора вуза, но в идеале нам бы хотелось этого, верно?

Самым зеленым в мире четвертый год подряд признается кампус Вагенингенского университета в Нидерландах.



Он предлагает программы бакалавриата и магистратуры по естественным наукам, экологии, туризму. В университете учится 12.500 студентов. Преподавание ведется на нидерландском и английском языках.



Зелень

Что сказать про кампус? Он действительно очень зеленый — как снаружи, так и внутри.



Бросается в глаза любовь архитекторов (а они разные для разных зданий) к форме куба снаружи и большому количеству мостиков, лесенок и переходов внутри.



Кстати, многие мостики спроектированы так, что их расположение можно менять в зависимости от нужд университета.



Велосипеды

Ну и, конечно, море велосипедов, как и везде в Голландии, где, как известно, их количество превышает число жителей.



Представьте, 55 % профессоров и 72 % студентов ездят на работу на великах! И для здоровья хорошо, и выбросы углекислого газа снижаются. Ради чи-

стоты воздуха в университете установили точки зарядки для электромобилей, электровелосипедов и электросамокатов. Часто очные собрания заменяют онлайн-встречами.



По кампусу проложили велосипедные дорожки, для преподавателей предусмотрели отдельную схему движения, организовали удобные парковки — лишь бы ездили! И даже студенческую велосипедную мастерскую организовали, а еще пункт аренды и продажи железных коней.



Такие зеленые человечки появляются на кампусе, чтобы повысить осведомленность студентов и преподавателей об экологии.

Мусор

Устойчивое развитие возведено в этом университете в религию. На кампусе для сбора отходов используется концепция EcoSmart («Умная экология»). Они разделяют 16 потоков мусора! Основные – бумага, картон, пластик, биоразлагаемые отходы, упаковочные материалы. Для каждого вида достигнуты отдельные соглашения об устойчивой переработке.

Зеленые отходы используются в качестве компоста на кампусе. Весь мусор взвешивается. Мусорные баки на колесах. Они собираются в определенное время в определенном месте – чтобы автомобиль меньше ездил по городку и загрязнял воздух.



Количество мусора с 2009 года сократилось уже на четверть (конечно, попробуй так сортировать). А цель EcoSmart – перерабатывать 100 % всех отходов для повторного использования.



Энергия

Для производства электроэнергии и обогрева зданий в Вагенингенском университете используют ветряные электростанции, солнечные батареи и грунтовые теплоаккумуляторы.



Последние действуют как огромные термосы, сохраняющие температуру воды. Вода из холодных подземных «колодцев» летом охлаждает здания. А нагревшись до 17 градусов, спускается в горячий «колодец» и хранится там для использования зимой. Университет не только полностью обеспечивает себя энергией, но и продает ее городу.



Питание

Экологичные подходы тут буквально во всем, в том числе в питании. Для ресторанов стараются покупать не просто полезные продукты, но еще и выращенные без применения пестицидов и химических удобрений. А один из проектов – Студенческий кулинарный уголок. По

средам любой ученик может принести во время обеда домашние блюда и про-давать их другим студентам. Универси-тет предоставляет стол и горшочек или кастрюлю с подогревом. Блюда должны быть экологически чистыми и вегетари-анскими. Выручку студент забирает себе.

Вот так живет самый экологичный вуз на планете. А вы хотели бы учиться

в таком? Подписывайтесь, комменти-руйте и ставьте лайки, если вам понравилась статья.

Источник: <https://dzen.ru/media/id/60a2d6176bdaf17139bdae3f/vuz-v-kotorom-hochetsia-uchitsia-samyi-zelenyi-universitet-v-mire-60bbc51c0716567b35245d46>

Экологические технологии в проектировании современных университетских кампусов

В. А. Павлова, В. С. Голошубин

Московский архитектурный институт (государственная академия), Москва, Россия

Аннотация

В современном мире появляются новые технологии, способствующие решению многих экологических проблем. Научное сообщество и ведущие университеты уделяют этому большое внимание. Новые экспериментальные разработки в этой области используются при проектировании и строительстве университетских кампусов. Современные университетские кампусы призваны функционировать по законам природы, быть частью экосистемы, не нарушая природного равновесия. Идеи природоэквивалентной архитектуры сочетаются с экологической безопасностью и энергоэффективностью. Такие кампусы можно назвать самодостаточными по принципу отношения к потреблению природных ресурсов. Они сами являются частью природы, не загрязняя окружающую среду и «не нуждаясь» в ней. Самодостаточная модель архитектуры кампусов отвечает представлению об университете как центре интеллектуальной активности и генераторе научных открытий в области современных эко-технологий.

На рубеже XX-XXI веков в архитектуре появилось такое понятие, как «устойчивая архитектура», т. е. стремление проектировать здания, которые бы находились в равновесии с природой и человеком. Этот термин впервые прозвучал на Конгрессе ООН по устойчивому развитию в Рио-де-Жанейро в 1992 году. Устойчивая архитектура базируется на приоритете экологического подхода к строительству и эксплуатации зда-

ний. В ней используются экологичные строительные материалы, энергосберегающие и ресурсосберегающие технологии, озеленение крыш и фасадов зданий, устройство зимних садов внутри зданий и др. Переход России к реализации концепции устойчивого развития провозглашен в Указе Президента Российской Федерации № 440 от 01.01.1996 г. и Градостроительном кодексе Российской Федерации в качестве официальной доктрины государства. Это требует от архитекторов поиска новых моделей развития крупных образовательных и научных комплексов на стыке возможностей архитектуры и природы [5]. В статье предпринята попытка обобщить современный мировой опыт проектирования устойчивых университетских кампусов и выявить передовые эко-технологии, которые можно использовать при строительстве университетских городков (кампусов) в нашей стране.

«Заказчиком» и «потребителем» архитектуры университетских кампусов являются ученые и студенты (будущие ученые). Чтобы представить себе уровень современной науки и социальный заказ, исходящий от нее, обратимся к открытиям, получившим Нобелевскую премию 2016 года. Все три премии этого года присуждены за методы и идеи, которые меняют образ мысли. В категории «физиология и медицина» премия присуждена 71-летнему японскому биологу Ёсинори Осуми, профессору Токийского технологического университета за исследование возможностей управления внутриклеточным процессом автофагии — уничтожением клеточного

«мусора» лизосомами, что может привести к победе над многими болезнями человека. Лауреаты этого года по химии придумали молекулы, которые могут работать деталями машин размером в нанометры, что было предсказано 30 лет назад американским инженером Эриком Дрекслером, благодаря которому слово «нанотехнология» пошло в массы. Один из лауреатов, голландский химик Бернард Феринг из университета города Гронингена (Нидерланды) довел технологию до совершенства и представил молекулу в форме гоночного автомобиля, которая может катиться по поверхности кристалла золота. Источником энергии для нее служит свет лазера со специально подобранной длиной волны, которую можно точно дозировать. Эта технология может быть применена в медицине и уже получила название фотофармакологии. Премия 2016 года по физике присуждена за «топологические фазовые переходы» — изучение базовых геометрических свойств вещей, которое в частности, может повлиять на создание новых методов поворота космических спутников и антенн.

Иными словами, возвращаясь к проблемам архитектуры, уровень современной мировой науки предполагает обитание ее представителей в особом мире, материальном и интеллектуальном, а архитектура университетских комплексов должна создавать условия для развития науки и образования, «подталкивать» ученых к новым прорывным открытиям. Поэтому во многих новых университетских зданиях мира применены современные строительные технологии, апробируются экспериментальные приемы проектирования. Уже введен в обиход новый термин — коэффициент интеллектуальности здания. Университеты приглашают известных архитекторов для создания новых брендовых кампусов. Примером может служить 15-этажная

«Инновационная башня Жокей-клуба», построенная в 2013 году по проекту Захи Хадид в Политехническом университете Гонконга (рис. 1). В башне разместилась университетская Школа дизайна, в том числе выставочные и лекционные залы, студии и архитектурные мастерские. Это сооружение называют архитектурным ориентиром, оно сочетает в себе образы стремительного развития молодежи и высокий уровень образования нового поколения. Здание принято описывать термином «бесшовная архитектура», где плавные линии задают динамику не только архитектурному сооружению, но и ландшафту вокруг него, который становится не просто украшением, а «элементом» фасада.

Даже небогатые развивающиеся страны стремятся создавать новые ультрасовременные университетские комплексы, которые повышают имидж страны, являются ее визитной карточкой. Такими комплексами являются университет в Чили архитектора А. Аравена (2003), Инженерный и технологический университет UTEC в Перу (2015, Grafton Architects) [11].

Сегодня появляются принципиально новые технологии, способствующие решению многих экологических проблем. Научное сообщество и ведущие университеты уделяют этому большое внимание. Новые экспериментальные разработки в этой области используются при проектировании и строительстве университетских кампусов. Современная устойчивая архитектура кампусов призвана «функционировать» по законам природы, быть частью экосистемы, не нарушая природного равновесия. **Самодостаточным** университетским кампусом предлагается называть кампус, в котором реализуются идеи природоэквивалентной архитектуры: сооружения являются частью природы, не загрязняя окружающую среду и «не нужда-

ясь» в ней. Такие кампусы можно назвать самодостаточными по принципу отношения к потреблению природных ресурсов. Самодостаточная модель архитектуры кампусов отвечает представлению об университете как центре интеллектуальной активности и генераторе научных открытий в области современных эко-технологий.



Рис. 1. Кампус Политехнического университета Гонконга. Архитектор З. Хадид (URL:<http://www.zaha-hadid.com/archive>)

Принципы проектирования самодостаточных университетских кампусов исходят из постулатов, сформулированных в конце XX века американским ученым Дэвидом Орром для энергоэффективных зданий [7]:

1. Строительство и эксплуатация кампуса должны способствовать развитию технологий, связанных с бережным использованием окружающей среды.
2. Строительство кампуса должно способствовать воспроизведению природного ландшафта, по-

вышать биологическое разнообразие видов.

3. Кампус не должен «производить» никаких сточных вод, то есть здания должны и потреблять, и сбрасывать только воду, пригодную для питья.
4. Кампус должен производить больше электроэнергии, чем использовать.
5. В кампусе не должны использоваться никакие вредные строительные материалы.
6. В кампусе должны использоваться материалы, произведенные без ущерба для окружающей среды.
7. В кампусе должны использоваться материалы, утилизация которых не нанесет ущерба окружающей среде.
8. В кампусе должен быть обеспечен строгий учет стоимости его эксплуатации.
9. Строительство и эксплуатация кампуса должны способствовать развитию экологической компетентности и внимательного отношения к окружающей среде, то есть кампус должен стать инструментом экологического обучения.

Современные экологические технологии, используемые в строительстве «самодостаточных» университетских кампусов

1. **Энергосберегающие технологии.** Здания постоянно теряют тепло через окна (порядка 19 % теплопотерь) и стены (5 % теплопотерь), а создаваемые в здании климатические системы принудительной вентиляции и кондиционирования не соответствуют современным стандартам энергосбережения, стоимость эксплуатации их в несколько раз превышает все вместе взятые затраты по уходу за зданием. Главными направлениями повышения энергосбереже-

ния являются внедрение принципиально новых типов конструкций зданий, использование эффективных теплоизоляционных материалов, использование энергии солнца, ветра, земли. В университете Стэнфорда (ZGF Architects) применены солнечные батареи на крыше и фасадах здания. Примером современного самодостаточного кампуса можно считать строящийся кампус компании «Apple» в г. Купертино (США). Новое здание компании, спроектированное Норманом Фостером, вместит 13 тысяч сотрудников. 80 % территории кампуса будет занимать зеленый парк, для которого выбраны засухоустойчивые растения. В общей сложности на территории кампуса будет посажено 7 тыс. деревьев, хорошо приспособленных к засушливому климату, что позволит свести к минимуму необходимое для орошения количество воды. В кампусе применяются новые энергоэффективные и экологические технологии¹.

2. Использование тепла земли для отопления и охлаждения здания. На территории колледжа города Оберлин (США) был построен Центр по изучению окружающей среды Адама Джозефа Льюиса («Adam Joseph Lewis Center», архитектор Уильям Макдонау, 2000), здание которого само является предметом изучения². Дэвид Опп назвал эту концепцию «архитектура как педагогика». Здание было построено в 2000 году. По мере развития новых технологий планируется их внедрение в здание Центра. Например, в 2002 году электрический отопительный котел атриума был заменен на теплонасосную установку. Планируется использование нетрадиционных и возобновляемых источников энергии, например, строительство ветроэнергетической установки и электростанции на

¹URL: <http://appleinsider.ru/istoriya-apple/14-interesnyx-faktov-o-novom-kampuse-apple.html>

²URL: http://www.abok.ru/for_spec/articles.php?nid=1658

топливных элементах. Разработчики проекта надеются к 2020 году сделать климатически нейтральное здание – здание, которое не требует внешних поступлений энергии и воды. Строительство приведет, по оценке проектировщиков, к энергопотреблению не более 25 % от энергопотребления традиционных зданий такой же площади. Для отопления или охлаждения помещений Центр использует 24 геотермальные скважины глубиной 73 м и диаметром 152 мм, расположенные с северной стороны здания. Расстояние между скважинами составляет 4,5 м. В качестве теплоносителя используется вода, циркулирующая в замкнутом цикле. Для передачи теплоты или холода используются водо-воздушные тепловые насосы. Каждый тепловой насос управляется индивидуально, что позволяет в части помещений здания осуществлять отопление, а в части – охлаждение [7].

Проект «Энергоэффективный жилой дом в микрорайоне Никулино-2» был реализован в Москве 1998–2002 годах. Энергоэффективные мероприятия, использованные при проектировании и строительстве этого многоэтажного жилого дома: теплонасосная установка для горячего водоснабжения, использующая тепло грунта и утилизацию тепла удаляемого вентиляционного воздуха; наружные ограждающие конструкции с повышенной теплозащитой³.

3. Утилизация тепла вентиляционных выбросов. Сады могут включаться в систему вентиляции зданий. В здании Коммерцбанка (Франкфурт-на-Майне, 1997, арх. Норман Фостер) используется, главным образом, естественное освещение и естественная вентиляция за счет включения зимних садов и атриума, проходящего от уровня земли до верхних этажей. Девять спирально расположенных зимних садов высотой в четыре этажа,

³URL: http://www.comhoz.ru/content/document_r_26C58B02-17BA-44F4-9AB7-A2739B4A0F22

улучшают микроклимат и создают благоприятную экологическую обстановку⁴. В здании Центра по изучению окружающей среды в Оберлине применены системы воздушного отопления (охлаждения), совмещенного с вентиляцией, система водяного отопления и панельно-лучистое отопление. Проект кампуса Национального исследовательского университета Сингапура предусматривает совокупную площадь застройки 60 тыс. м². Концепция предлагает устройство ботанического сада внутри кампуса, который пересекают пешеходные маршруты, формирующие интерактивное общественное пространство с большим количеством социальных функций (рис. 2). Пространственная организация ансамбля соответствует тропическому климату Сингапура со среднегодовой температурой +27 °С. На территории кампуса предусмотрено большое количество затененных открытых пространств. Формы четырех зданий являются оптимальными для устойчивого внутреннего микроклимата, что позволяет уменьшить потребление электроэнергии на кондиционирование более чем на 30 % [12].



Рис. 2. Кампус Национального исследовательского университета Сингапура
(URL: <http://www.archiscene.net/wp-content/uploads/2010/11/The-Singapore-University>)

4. **Максимальное использование естественного освещения и энергосберегающее искусственное освещение** с датчиками наличия людей в учебных помещениях для снижения затрат электроэнергии на освещение, использование для освещения внутренних помещений отблесков, рефлексов и отраженного света используются во всех современных университетах. Для уменьшения нагрева здания в летнее время, когда солнце находится высоко над горизонтом, южная стена Центра по изучению окружающей среды в Оберлине затеняется выступающим солнцезащитным козырьком крыши. Ориентация здания, вытянутого в направлении восток-запад, и использование с южной стороны светопроемов с большой площадью остекления также помогает экономить электроэнергию. Для выработки электричества используются солнечные батареи (фотоэлектрические панели) производства компании «BP Solarex».

5. **Энергоэффективные наружные ограждающие конструкции.** Для уменьшения теплопотерь и теплопоступлений через остекление двухэтажного атриума Центра в Оберлине применены окна с повышенными теплозащитными и солнцезащитными характеристиками. Окна представляют собой тройные стеклопакеты. В конструкции стеклопакета использованы три вида стекол, характеристики которых позволяют окнам пропускать свет видимого диапазона, но задерживать солнечную радиацию ИК спектра. Воздушные промежутки между стеклами заполнены аргоном. Разработка инновационных энергоэффективных технологий для наружного остекления успешно ведется и в России. Компания «Теплориум», один из наиболее активных участников иннопарка «Сколково», разработала энергоэффективное остекление для российских климатических условий. Конструкция представляет со-

⁴URL: <http://www.studfiles.ru/preview/3578078>

бой два стеклопакета, между которыми создается буферная воздушная камера. В зависимости от климата региона подбирается стекло со специальным напылением, и в результате достигается максимальная теплоизоляция. Толщина газовой прослойки между стеклопакетами определяется условиями для применения конструкции: в компании разработали универсальный вариант для средней полосы России «Стандарт», остекление для жаркого климата «Сахара», вариант для Крайнего Севера «Сибирь». Проект отмечали на многих российских и международных выставках. Так, совсем недавно «Теплориум» стал призером международного конкурса лучших технологий для города OIMP, который прошел в Москве в рамках 33-й Всемирной конференции технопарков и зон инновационного развития IASP.

6. Биотопливо. Биотопливо, получаемое из биомассы, — один из наиболее распространенных в современном мире возобновляемых источников энергии. Биотопливо уже внедряется в США. Разработками технологий получения масла из водорослей занимаются следующие исследовательские американские университеты: университет штата Аризона, Иллинойский университет в Урбана-Шампейн, Калифорнийский университет в Сан-Диего, университет Небраска-Линкольн, Техасский университет в Остине, Университет Мэна, Канзасский университет, Колледж Вильгельма и Марии, университет северного Иллинойса, Техасский университет в Сан-Антонио, университет Старого Доминиона, Университет штата Юта, государственный университет Нью-Мексико и Миссурийский университет науки и технологий. В ходе исследований отрабатываются способы получения органического биотоплива из морских водорослей. Полученное из водорослей органическое масло

должно быть пригодным для переработки на нефтеперегонных заводах и получения таких видов топлива, как бензин, дизельное или авиационное топливо, а также может использоваться для выработки электроэнергии [4].

7. Система автоматического управления и мониторинга энергопотребления осуществляет контроль энергопотребления здания, а также параметров микроклимата помещений и параметров наружного климата. В Исследовательском центре и музее Академии наук Сан Франциско (2008, архитектор Ренцо Пиано) специальные фотодатчики в системе освещения автоматически уменьшают или полностью выключают искусственное освещение в случае проникновения достаточного количества дневного света в помещение, уменьшая количество электроэнергии, необходимой для освещения внутренних пространств.

Высокотехнологичные строительные материалы

Технические университеты занимаются разработкой новых технологий и *новых материалов*, которые вскоре полностью изменят наш мир. Студенты, решившие посвятить свою жизнь работе в выбранном направлении, и преподаватели, научное сообщество заслуживают того, чтобы работать в сверхсовременных зданиях, в которых применены и продемонстрированы новейшие строительные материалы и материалы из той области науки, которой посвящен факультет или лаборатория. Заслуживают внимания архитекторов такие материалы, как: древесина, подвергшаяся наноинfiltrации; прозрачный бетон из оптоволокна; несущие колонны из стекла; теплорегулирующий материал, меняющий фазу, — микронал; кремниевые высокопрочные аэрогели; углепластик; биологический бетон; стеновые панели с фитоводорослями [1]. Смелое решение предложил британский архитектор

Дэйв Эдвардс для застройки Лондона — его эко-небоскреб полностью покрыт зеленой стеной из водорослей, которые будут очищать воздух и воду для своих жильцов, улавливать био-метан для производства тепла и энергии. В зимний период геотермальный насос будет перекачивать теплый воздух из туннелей лондонского метро и после прогона через водоросли перенаправлять его в систему отопления дома.

При наноинfiltrации древесину пихты сушат в микроволновой печи или вакууме до неполного закрытия пор, а затем погружают в коллоидный раствор с солями оксида кремния или карбоната кальция. Это позволяет достичь таких свойств дерева, что его можно применять как конструкционный и отделочный материал даже в многоэтажном строительстве (до 30 этажей). Психологический и эмоциональный комфорт при нахождении человека в деревянных домах давно доказан учеными, особенно это касается северных стран, где дерево — традиционный материал, к тому же полностью экологичный и относящийся к возобновляемым природным ресурсам.

Ученые Политехнического Университета Каталонии (Барселона) в 2012 году предложили и запатентовали абсолютно новый вид строительного материала — органический бетон или «биологический бетон», способствующий развитию мха и лишайника (рис. 3).



Рис. 3. Фасады здания из биобетона
(URL:<http://remvideo.ru/images>)

Материал предполагается использовать для облицовки фасадов зданий в условиях теплого и влажного средиземноморского климата, где могут активно произрастать пигментированные организмы, то есть мхи и лишайники. Основой для изготовления биобетона является магниевый фосфат-цемент. Этот материал до недавнего времени широко применялся в стоматологии, чем и доказал свою абсолютную биологическую безопасность. Биологический бетон — это бетон, в котором основа в виде портландцемента заменяется на фосфат магния. В результате в бетоне образуется не щелочная, а кислотная среда, которая благоприятна для развития микроорганизмов. Для создания фасадных материалов используют трёхслойную структуру. Первый, внутренний слой прочный и водонепроницаемый. Он работает своеобразным фундаментом биопанели, придает ей нужную форму и жесткость. Второй слой не только активно впитывает, но и хорошо удерживает влагу (в частности — дождевую воду). В этом слое и происходит произрастание и размножение организмов. Третий, внешний слой пористый и шершавый. Он способствует проникновению воды во внутренний слой и препятствует ее испарению. Кроме того, на его шершавой поверхности растения удерживаются гораздо лучше. Панели из биобетона монтируются на фасад здания и выполняют ограждающую, декоративную и экологическую функции. Здание, декорированное такими панелями, естественным образом окрашивается в натуральные природные цвета. Слой растений на биопанели представляет собой хороший термо- и шумоизолятор. Растения, занимающие достаточно большую площадь, активно поглощают углекислый газ и выделяют кислород. Таким образом, здание подключается

к экосистеме данного места и служит ее частью⁵.

Применение при строительстве экологически чистых материалов и материалов с возможностью их повторного использования или экологически безопасной переработки стало нормой при строительстве таких объектов, как университеты. Одной из особенностей современной архитектуры стал знак «экологической безопасности». В европейском сообществе идеология экологической сертификации получила подтверждение в постановлении Совета ЕЭС №1836/93 от 29 июня 1993 г. об участии промышленных компаний в Схеме Сообщества по управлению и проверке экологии (EMAS – эко-менеджмент и аудит Европейского сообщества). В Российской Федерации действуют следующие международные системы, стандарты и системы сертификации в области «зеленого» строительства: LEED (США), BREEAM (Великобритания), DGNB (Германия). Также в 2010 году зарегистрирована российская система «Зелёные стандарты». Основная задача сертификации – стимулировать застройщиков, архитекторов и проектировщиков, строителей и эксплуататоров внедрять ресурсосберегающие, энергоэффективные технологии, использовать экологически чистые материалы, уменьшающие негативное воздействие архитектурных объектов на здоровье людей и окружающую среду.

Применение нанотехнологий. Человек до сих пор живет в железном веке. Длится этот железный век примерно последние 3500 лет, и за всё это время количество технологий обработки металла не увеличилось. Технологии менялись, но, как когда-то литейщики отливали наконечники стрел, так до сих пор такие техноло-

гии, как литье, очень широко используются в промышленности во всем мире. И эта промышленность сейчас построена в основном на технологиях литья и резанья. Сначала что-то отливается, потом это режется, деформируется. Это так называемые технологии вычитания. Но в последние 10-15 лет развивается новый комплекс технологий. Это не технологии вычитания, а технологии сложения, или аддитивные технологии. В отличие от технологий литья и резанья, аддитивное производство построено на добавлении материала. Изделия создаются за счет добавления металлического порошка, либо металлической проволоки, либо металлического расплава туда, куда нужно. Сейчас основной из аддитивных технологий, использующихся человечеством, является технология послойного выращивания. Материал для этих технологий готовится в виде порошков. Новые технологии требуют новых материалов. Сейчас у нас на глазах создается не просто новая отрасль промышленности, а практически новая сфера человеческой деятельности – создание наноматериалов, использующих свойства микрочастиц. В строительстве, например, уже широко используется для общественных зданий с большими площадями остекления самоочищающееся стекло – стекло с добавлением диоксида титана.

Сад как элемент инженерной системы⁶.

Сады несут не только эстетические, но и иные функции: являются теплоизоляцией, участвуют в процессе очистки сточных вод, включены в систему вентиляции помещений. Инженерное использование сада – это симбиоз природы и техники (рис. 4).

⁵URL: <http://proptop.pro/articles/bio-concrete>

⁶URL: <http://venec.ulstu.ru/lib/disk/2012/Sotnikova.pdf>

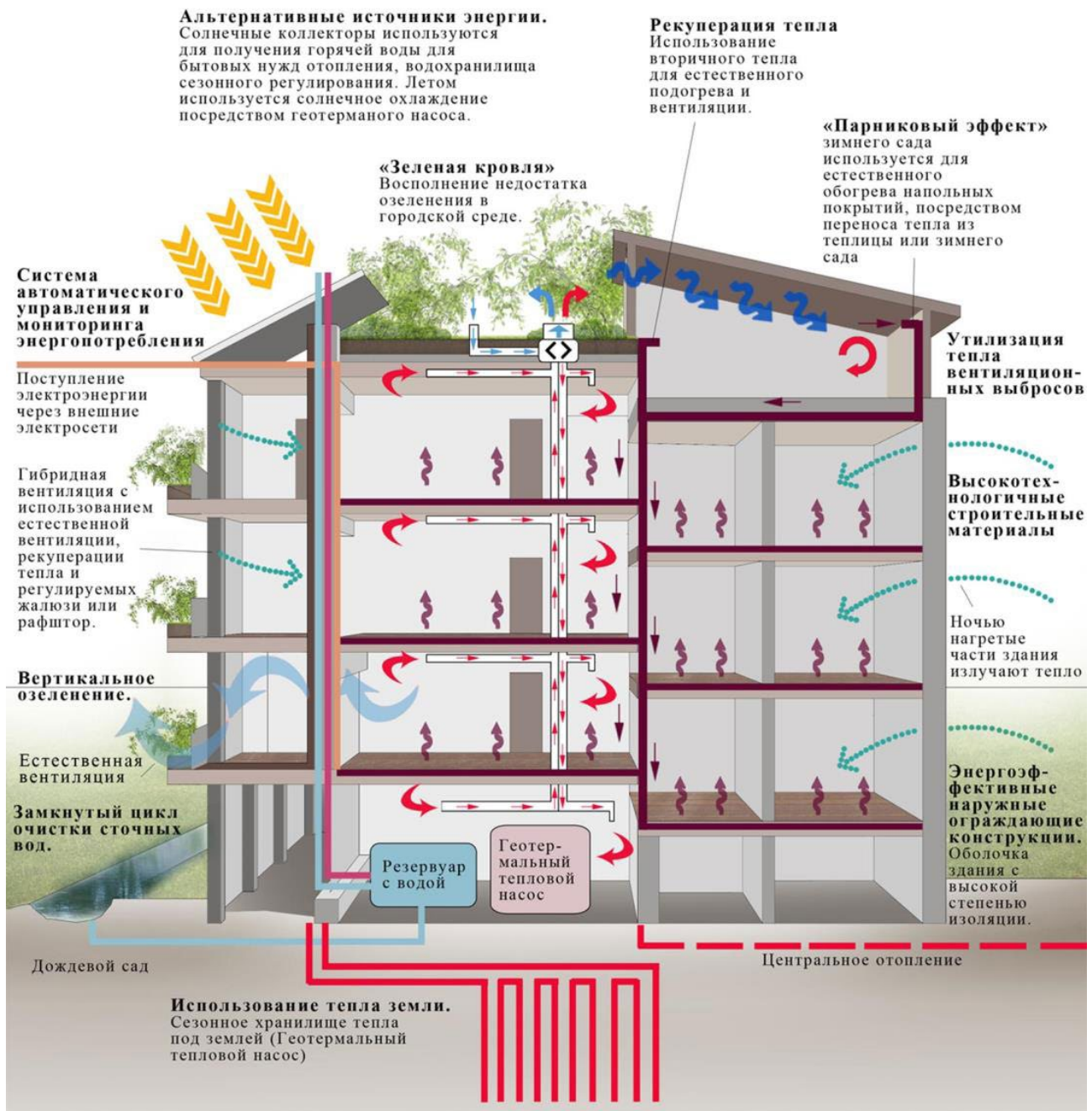


Рис. 4. Эко-технологии в проектировании зданий (по [3], в авторской интерпретации)

Использование дождевой воды и замкнутый цикл очистки сточных вод. В Центре по изучению окружающей среды в Оберлине применены установки очистки сточных вод «Living Machine», изобретенные Джоном Тоддом в 1992 году. В них комбинируются обычные технологии очистки сточных вод и процессы очистки естественных экосистем: удаление органических загрязнений, дезинфекция и удаление или снижение

концентрации в воде таких веществ, как азот и фосфор. Органические загрязнения разлагаются при помощи солнечного света и управляемых органических процессов, в которых используются живые организмы – бактерии, растения, зоопланктон и беспозвоночные (улитки). В зависимости от климата установка Living Machine может быть размещена в оранжерее, под легким укрытием или на открытой площадке. В отличие

от традиционных систем очистки при работе установки не выделяются неприятные запахи, что позволяет поместить ее в непосредственной близости от помещений. После отстойника вода поступает в искусственное болото, расположенное в оранжерее. На полу оранжереи расположена гравийная подушка толщиной 90 см. Камни и корни растений, таких как осока, ирисы и тростник, обеспечивают среду обитания для денитрифицирующих бактерий. Очищенная вода из сборного резервуара поступает в ультрафиолетовую дезинфекционную установку. Производительность этой установки составляет 10 тыс. литров сточных вод ежедневно. Обработанные установкой сточные воды возвращаются в здание и повторно используются в качестве непитьевой («серой») воды [2].

Водосбережение здания Академии наук в Сан-Франциско обеспечивается благодаря установленным системам приема и дальнейшего использования дождевой воды, что минимизирует расход питьевой воды. В здании смонтированы две отдельные системы канализации — одна для туалетов («чёрные стоки»), а другая — для раковин и душей («серые стоки»). Вода от «серых стоков» подвергается многократной очистке, в результате которой происходит биологическая очистка стоков от органических соединений. После этого вода очищается с помощью кварцевых ламп ультрафиолетовым облучением и подаётся насосом через отдельную систему трубопроводов на водоснабжение смывных бачков туалетов.

Пхоханский университет науки и технологии (POSTECH) — частный университет в Южной Корее — в 1998 году был признан лучшим техническим университетом Азии. Его обитатели скоро получат новый современный кампус на берегу моря. Волновая форма главного

здания кампуса вписывается в окружающий гористый ландшафт. В проекте комплекса предложено создать резервуар, который будет получать дождевую воду с холмов, а также очищенные стоки с территории кампуса. Вода будет проходить многоступенчатую очистку и использоваться повторно [12].

Сад на искусственном основании как компонент экосистемы

В настоящее время можно выделить несколько направлений в озеленении университетских зданий: озеленение крыш (горизонтальные поверхности); озеленение фасадов (вертикальные поверхности); контейнерное пристановочное озеленение; озеленение за счет новых «биологических» материалов [11].

Идея создания садов на искусственных основаниях перестала быть утопической. В 1995 году бразильский архитектор Эмилио Амбаш построил здание общественного центра префектуры Фукуока, сделав его продолжением парка. Культурный центр ACROS имеет 14 одноуровневых террас, которые покрыты растениями; в здании располагаются выставочный зал, музей, театр, конференц-зал, офисы, а также большой подземный паркинг и торговые площади. Здание «покрыто» парком из 35 тысяч растений разных видов. В проекте «Вертикальный лес» (2015, Стефано Боери, Милан) в двух башнях высотой 80 м и 112 м высажено 480 крупных и средних деревьев, 250 маленьких, 11000 почвопокровных растений и 5000 кустарников, что приравнивается к 1 га леса. Такой объем растительности создаст новый «очаг» природы в городе, по эффекту подобный тому, как если бы 5 га были застроены индивидуальными домами с садами. Жилые башни «Вертикальный лес» воплощают собой концепцию архитектуры, которая способствует оздоровлению городской среды. Листва

на фасадах фильтрует пыль и копоть, поглощается углекислый газ, выделяется кислород, поддерживается определенный уровень влажности, а также создается благоприятный микроклимат внутри здания. Вертикальный лес увеличивает биологическое разнообразие экосистемы. Вертикальное озеленение становится средой обитания для птиц и насекомых. В проекте была разработана сложная система полива, которая основана на принципах энергосбережения, устойчивости и повторном использовании воды [8]. Женский университет в Сеуле, построенный по проекту Доменика Перро (2012), обладает эксплуатируемой зеленой кровлей (рис. 5).



Рис. 5. Университет в Сеуле. Архитектор Д.Перро ([assets.inhabitat.com//EWNA-Womans-University-Dominique-Perrault-Architecture](https://assets.inhabitat.com/EWNA-Womans-University-Dominique-Perrault-Architecture))

Французский дизайнер и ботаник Патрик Бланк обрел всемирную известность благодаря системе биологического декора под названием «Вертикальные сады». Он создает вертикальные сады уже на протяжении 30 лет. Архитектор Жан Нувель пригласил Патрика Бланка для совместной разработки проекта жилого комплекса в Сиднее «One Central Park», который стал самым высоким сооружением в мире, обладающим живой стеной из растений высотой 116 метров. Оригинальная деталь здания — выносная зеркальная панель, проецирую-

щая солнечные лучи на нижние уровни комплекса для лучшей инсоляции растений. По технологии Бланка к фасаду здания монтируется металлическая рама с тонким настилом полимерного войлока с капиллярной структурой, по которой поднимается влага и раствор минеральных удобрений. Именно в него высаживаются семена и саженцы растений. Мельбурнский Университет Дизайна (2013, архитектор Джон Хорнер) озеленен с применением технологии вертикального расположения растений Патрика Бланка.

Проект университета во вьетнамском Хошимине (2015, архитектор Во Тронг Ниа) представляет собой ступенчатые террасы, покрытые тропической растительностью. Калифорнийская Академия Наук в Сан-Франциско в 2008 г. получила новое здание, построенное по проекту Ренцо Пиано (рис. 6). Это здание входит в десятку самых «зеленых» зданий США и соответствует самым высоким стандартам LEED. Его озелененная волнистая кровля площадью более 10 тыс. м² позволяет обойтись без кондиционирования помещений, обладая хорошими теплоизолирующими свойствами. Здание потребляет на 30-35 % меньше энергии, чем аналогичные без использования современных технологий экостроительства. Мансардные окна автоматически открываются для выхода чрезмерно теплого воздуха. Зеленая крыша содержит около 62 тыс. фотогальванических элементов, которые вырабатывают почти 213 тыс. кВт · ч экологически чистой энергии в год (не менее 5 % необходимой зданию энергии).

Сегодня наша страна нуждается в обновлении структуры высшего образования, которое привело бы к скачку в сфере новейших технологий и научных разработок. В 2003 году Россия приняла условия Болонской конвенции и приняла курс на создание единого европей-

ского пространства высшего образования. В 2009 году был подписан закон о создании сети федеральных университетов⁷ (Южный федеральный университет, Уральский федеральный университет, Дальневосточный федеральный университет, Сибирский федеральный университет и др.). Крупные университеты сейчас активно пытаются создавать на новом месте или реконструировать свои кампусы. Например, в 2013 году построен новый кампус Дальневосточного федерального университета на острове Русский. Дальневосточный федеральный университет вошел в рейтинг самых экологически чистых вузов мира, опубликованный Индонезийским университетом. Это первый и единственный рейтинг, который измеряет вклад научно-образовательных организаций в развитие экологически благоприятной инфраструктуры. Всего в нем ранжированы 407 университетов из 65 стран. ДВФУ занял 119 строчку и стал вторым среди российских вузов, представленных в сводном списке⁸. Всего в рейтинг попали 17 российских университетов, среди них: Российский государственный педагогический университет им. Герцена, Петрозаводский, Алтайский, Томский, Пензенский, Воронежский университеты [9].

Среди критериев оценки «зеленых» университетов: общее отношение к природной среде; потребление энергии; воздействие на изменения климата; рациональное использование водных ресурсов; наличие транспорта на территории кампуса — общественного, личных автомобилей и велосипедов; организация учебных курсов и научных иссле-

⁷ Федеральный закон от 10 февраля 2009 г. № 18-ФЗ «О внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации по вопросам деятельности федеральных университетов».

⁸URL: www.dvfu.ru/news/fefunews/fefu_the_russian_leader_in_the_world_ranking_of_environmentally_friendly_universities

дований по экологической проблематике [9]. В ДФГУ проведены следующие энергосберегающие мероприятия: замена люминесцентных светильников на светодиодные; установка датчиков движения для автоматического управления освещением в помещениях; оснащение эскалаторов системой «старт-стоп», что даст вместе экономию 700 тыс. кВт · ч в год. В ДФГУ используются солнечные водонагревательные установки. Эта система является самой мощной в российских вузах и позволяет экономить 30 % тепловой энергии, расходуемой на получение горячей воды.



Рис. 6. Академия наук в Сан-Франциско. Архитектор Р. Пиано www.archdaily.com/6810/california-academy-of-sciences-renzo-piano

Новый кампус для вузов Сургута проектировался по программе, в которую включены положения об энергоэффективности и экологической безопасности зданий: применение инновационного и эффективного инженерного оборудования, современных экологически чистых строительных и отделочных материалов; использование энергоэффективных технологий, позволяющих тепло, выделяемое мощным энергоемким оборудованием, направлять на обогрев помещений, снижая тем самым не только эксплуатационные расходы, но и объем выбросов парниковых газов в атмосферу [10]. При про-

ектировании иннопарка Сколково был разработан специальный «Зеленый кодекс» с учетом международных правовых актов в области проектирования и строительства, нормативных актов, стандартов, технических регламентов, а также передового опыта стран-членов Организации экономического сотрудничества и развития, Генерального плана, российских и международных стандартов экоустойчивого проектирования и строительства (в том числе LEED). Но в действительности большинство «зеленых» предложений в Сколково пока существуют только на бумаге. При строительстве инновационного центра поэтапно отказывались от применения озелененных крыш, замкнутого цикла водоснабжения и др. из-за неприемлемой высокой стоимости реализации этих технологий.

Самодостаточная модель университетов привлекает все больше молодых архитекторов, которые в своих проектах не отстают от зарубежных коллег и включают в архитектуру многофункциональных учебных комплексов зеленые технологии. Инновационные разработки использовали в своих дипломных проектах студенты МАРХИ: Гревцова И.В. («Ландшафтная организация рекреационной зоны студенческого кампуса г. Мытищи», руководитель проф. Е.Ю. Прокофьева, 2008); Д.С. Алахверды («Кампус академии компьютерных наук и информационных технологий», руководитель проф. В.В. Ауров, 2015, рис. 7); А.Г. Казанкова («Архитектурно-ландшафтная организация университетского кампуса. г. Вологда», руководитель проф. И.А. Карлсон, 2015), М.О. Финагина («Студенческий многофункциональный жилой комплекс в



Рис. 7. Студенческий проект Алахверды Д. ([URL: www.marhi.ru/education/contest/spec/s05.php](http://www.marhi.ru/education/contest/spec/s05.php))

Берлине», руководитель проф. Д.В. Величкин, 2016).

Стремление молодых архитекторов использовать в своих проектах новейшие экоразработки подтвердил прошедший летом этого года в Крыму молодежный образовательный форум «Таврида». На смене для архитекторов и дизайнеров молодые специалисты и студенты из всех регионов России разрабатывали концепции новых университетских кампусов для нескольких вузов страны. Активная позиция молодого поколения внушает оптимизм и надежду на то, что открытия, с описания которых мы начали эту статью, будут такой же реальностью в нашей стране, как и инновационные экологические технологии в университетских кампусах всего мира.

Литература

1. Жук П. М. Экологическая оценка наноструктурированных материалов в архитектуре / П. М. Жук // Сборник «Устойчивая архитектура: настоящее и будущее». Труды международного симпозиума 17-18 ноября 2011 г. – М.: МАРХИ, 2012. – С. 590.
2. Забелина Е. В. Поиск новых форм в ландшафтной архитектуре: учеб. пособие / Е. В. Забелина – М.: «Архитектура-С», 2005. – 160 с.
3. Марков Д.И. Разработка моделей энергоэффективных зданий средней этажности на основе новейшего зарубежного и отечественного опыта / Д.И. Марков // Сборник «Устойчивая архитектура: настоящее и будущее». Труды международного симпозиума 17-18 ноября 2011 г. – М.: МАРХИ, 2012. – С. 458-467.
4. Муртазина Э. И. Получение биотоплива из водорослей с использованием нанотехнологий в университете штата Аризона (США) / Э. И. Муртазина // Вестник Казанского технологического университета. – Казань, 2012. – Т. 15. – № 18. – С. 212– 216.
5. Нефедов В. А. Городской ландшафтный дизайн: учеб. пособие / В. А. Нефедов. – СПб.: «Любович», 2012. – 320 с.
6. Сотникова В. О. Ландшафтная архитектура: учеб. пособие / В.О. Сотникова. – 2-е изд.: УГТУ: venec.ulstu.ru
7. Табунщиков Ю. А. Мировой и отечественный опыт строительства энергоэффективных зданий / Ю. А. Табунщиков, Н.В. Шилкин : www.comhoz.ru
8. Boeri Studio. Жилой комплекс «Вертикальный лес» // ПРОЕКТ-INTERNATIONAL. – № 38, 2014.
9. Greenmetric : greenmetric.ui.ac.id/overall-ranking-2015/
10. Proekt-kampus : <http://pobedpix.com/proekt-kampus>
11. Ramboll Studio Dreiseitl. Catalyst for liveable public spaces that integrate natural systems : www.dreiseitl.com
12. University : www.archdaily.com/category/university

Источник: <https://elima.ru/articles/?id=632>

Корпоративные стратегии углеродной нейтральности

Обзор климатических обязательств мировых компаний

Содержание

- Глобальный контекст
- Обзор международного корпоративного сектора
- Российские компании
- Инструменты по сокращению выбросов
- Международные инициативы

Глобальный контекст

Установление целей по нулевым нетто-выбросам CO₂ становится трендом в корпоративном секторе в 2021 году. Многие крупные банки, металлургические и нефтяные компании, медиа-гиганты уже объявили о целях достижения нулевых выбросов, и их число неуклонно растет.

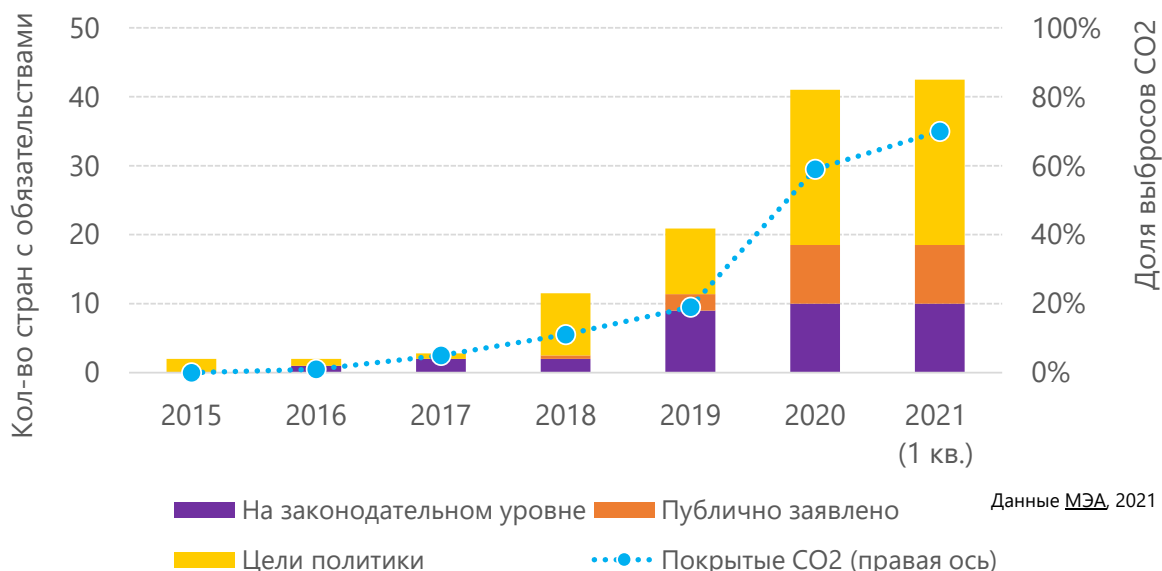
Предпосылками тренда стали **международные обязательства** стран - крупнейших эмитентов парниковых газов, растущий запрос на **раскрытие нефинансовой отчетности** бизнеса (развитие таких стандартов и инициатив), **ограничение возможностей по привлечению финансирования** в углеродоемкие проекты.



С принятием **Парижского соглашения** в 2015 году ускорился тренд на низкоуглеродное развитие, а уже сейчас можно наблюдать усиливающуюся конкуренцию за новые рынки и финансовые потоки.

Пик роста заявленных странами обязательств по углеродной нейтральности приходится на 2019-2021 годы. По оценкам ООН и МЭА, такие обязательства стран покрывают порядка 68% мирового ВВП и 70% глобальных выбросов CO₂.

Динамика роста национальных обязательств по нетто-выбросам и доля покрытия глобальных выбросов CO₂ этими обязательствами



По состоянию на май 2021 г. более **120 стран, 800 городов, 100 регионов, 2300 компаний** объявили о целях по достижению углеродной нейтральности (на основе анализа данных девяти крупнейших платформ по вопросам изменения климата, таких как CDP и Глобальная платформа ООН).

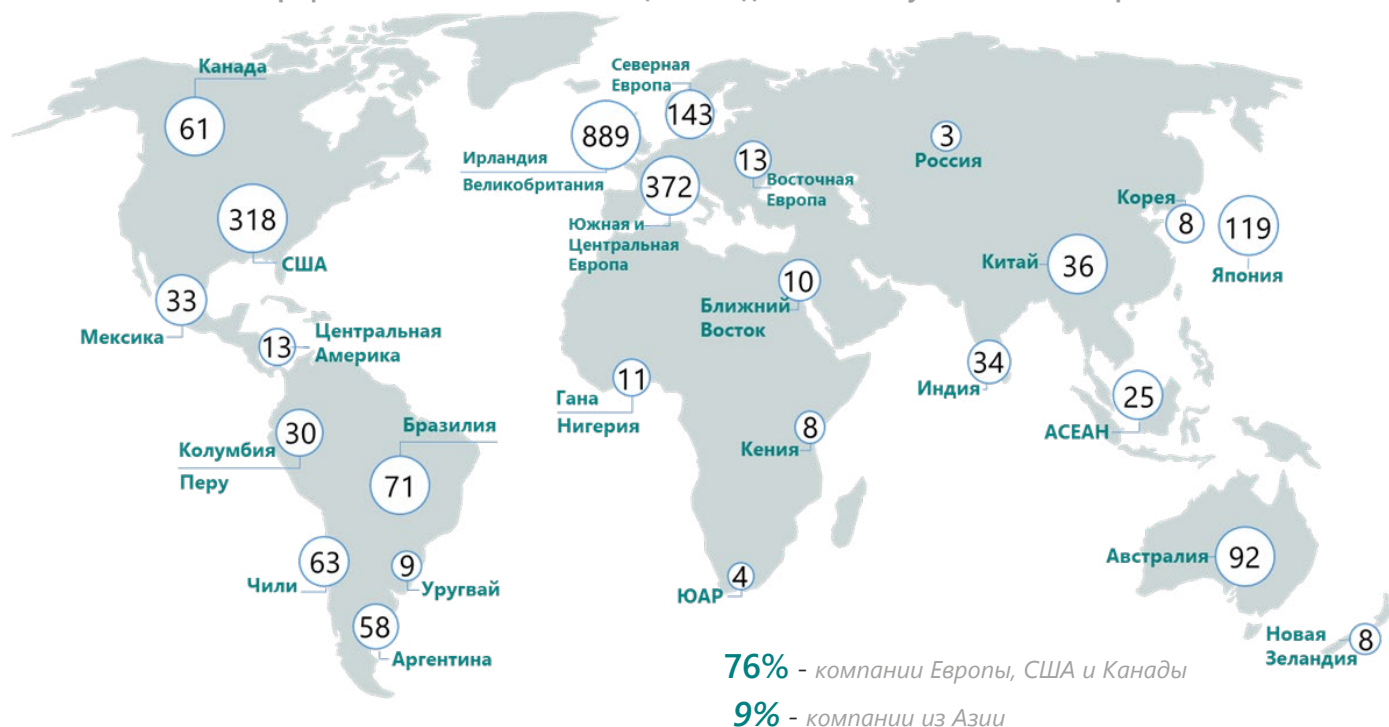
Следует ожидать, что проведение в 2021 году знакового события с точки зрения развития глобальной повестки по климату, **26-ой Конференции ООН по изменению климата в Глазго** (КС-26 РКИК ООН, 01-12 ноября 2021 г.), придаст серьезный импульс формированию новых правил и стандартов ведения бизнеса в контексте борьбы с последствиями изменения климата.

Обзор корпоративного сектора

По оценкам экспертов, странам необходимо провести структурные реформы в экономике и отдельных секторах для достижения своих целей по нулевым нетто-выбросам. Уже сейчас многие страны предпринимают шаги по внедрению новых инструментов регулирования, оказывающих прямое влияние на бизнес: запрет и поэтапный отказ от загрязняющей деятельности; реформа субсидирования ископаемого топлива; налоговые меры; новые стандарты продукции и топлива; обязательное раскрытие информации о ESG и климатических рисках.

Учитывая, что регулирование развивается параллельно с давлением инвесторов и общественности, в последние годы наблюдается стремительный рост компаний, публично заявивших о целях по сокращению выбросов и достижению углеродной нейтральности.

География компаний, заявивших о целях по достижению нулевых нетто-выбросов



Данные Global Climate Action, 2021

Сейчас таких компаний насчитывается более 2000, причем о целях заявляют как крупнейшие трансграничные корпорации, входящие в авторитетные международные рейтинги и индексы, так и малые и средние предприятия.

Компании с головными офисами в Европе и Северной Америке составляют большую часть всех предприятий, принявших на себя соответствующие обязательства, но в целом как минимум одна компания из Fortune Global 500 с каждого континента по всему миру также поставила себе цели по достижению нулевых нетто-выбросов.

Доля компаний, заявивших о целях по достижению нетто-нулевых выбросов

21% Forbes Global 2000

60% S&P 500

8% Global Fortune 500

30% FTSE100

Согласно данным [Data Driven Envirolab](#), **самые активные сектора** по принятию обязательств по достижению нулевых нетто-выбросов - **дискреционные потребительские товары¹ и промышленность.**

**Сектор дискреционных
потребительских товаров**



195

компаний с общей
выручкой **\$2 трлн**

Промышленный сектор



171

компания с общей
выручкой **\$1 трлн**

Согласно [отчету](#) инициативы Climate Action 100+ за 2020 год, в состав которой входит 160 крупнейших компаний (80% мировых промышленных выбросов), цели по снижению выбросов чаще ставят компании из **нефтегазового и жилищно-коммунального секторов.** В данной инициативе **43% компаний** установили обязательства по нулевым выбросам в какой-либо форме.

Участники Climate Action 100+ по секторам



39

Нефтегазовый сектор



26

Промышленный сектор



23

Металлургия и добыча



26

Транспортные компании



31

Жилищно-коммунальный
сектор



14

Сектор потребительских
товаров

По данным аналитиков [Bank of America](#), компании сектора **финансовых услуг** заявляют наиболее кратчайшие сроки достижения углеродной нейтральности (2022 год), в то время как компаниям в сферах **ЖКХ и энергетики** требуется гораздо больше времени для выполнения своих обязательств (2050 год).

¹ Товары и услуги, которые считаются несущественными для потребителя, но желательными, если позволяет доход. Это товары длительного пользования, одежда, развлечения, отдых и автомобили.

Медианная дата достижения целей компаний по углеродной нейтральности, по секторам

Сектор	Медианная дата достижения углеродной нейтральности
Финансы	2022
Основные потребительские товары	2025
ИКТ	2026
Здравоохранение	2030
Предметы роскоши	2030
Промышленность	2030
Коммуникации	2033
Энергетика	2050
Коммунальные компании	2050
Материалы	2050

Данные [BofA](#), 2021

➤ **Большинство климатических целей – краткосрочные**

Различия наблюдаются также в разрезе сроков постановки целей. Согласно McKinsey, **большинство компаний ставят краткосрочные цели**, но многие делают разбивку целей по разным временным промежуткам. От установки сроков зависит вероятность выполнения целей компании.

44%

компаний ставят краткосрочные цели – к 2025 г.

27%

компаний ставят среднесрочные цели (2026-2040 гг.)

2%

компаний ставят долгосрочные цели (2030-2050 и далее)

27%

компаний ставят цели на все промежутки

Данные [McKinsey](#) на 2020 г. по компаниям, которые раскрывают информацию о своих целях

По оценкам McKinsey, компании, которые ставят цели на краткосрочную перспективу, с более высокой вероятностью смогут показать положительные результаты в долгосрочной перспективе.

➤ **65% целей будут выполнены между 2020 и 2050 годами**

Есть и исключения, когда компании сталкиваются с **трудностями в долгосрочной перспективе**, несмотря на выполнение краткосрочных целей. Обычно такие компании работают в одной из **следующих отраслей**: транспорт, ископаемое топливо, гостиничный бизнес, здравоохранение и биофармацевтика. Ключевой фактор сокращения выбросов в этих отраслях – **технологии, которые могут быть пока недоступны** компаниям, либо недостаточно развиты.

➤ **Большинство целей приходится на операционные выбросы**

Большинство заявленных целей (74%) компаний приходится на **операционные выбросы (сфера охвата 1 и 2) компаний**. В сфере охвата 3 компаниям, как правило, намного сложнее сократить выбросы, тем не менее на нее приходится более 50% всех выбросов.

Сфера охвата 1 – прямые выбросы ПГ, которые выбрасываются из источников, принадлежащих отчитывающемуся субъекту или контролируемых им.

Сфера охвата 2 – косвенные выбросы ПГ, связанные с производством электроэнергии, тепла или пара, закупаемых отчитывающимся субъектом.

Сфера охвата 3 – показывает все другие косвенные выбросы, т.е. выбросы, связанные с добычей и производством закупаемых материалов, горючего и услуг, включая перевозку на транспортных средствах, не принадлежащих отчитывающемуся субъекту или неконтролируемых им, деятельность внешних подрядчиков, удаление отходов и т.д.

➤ **У многих компаний пока отсутствует четкая стратегия по нейтральности**

В целом международные эксперты отмечают, что несмотря на позитивную динамику в вопросе принятия обязательств по углеродной нейтральности и целей по сокращению выбросов, пока у большинства компаний **отсутствуют четкий план или стратегия** по достижению необходимого результата. В этой связи возникают опасения, что в ряде случаев публичные заявления могут оказаться маркетинговой стратегией или использоваться в целях «гринвошинга».

90%

компаний из списка S&P500 публикуют нефинансовую отчетность

40%

этих компаний не имеют программы достижения углеродной нейтральности






























Deloitte и Fortune, 2021






Обзор целей компаний в области снижения выбросов CO₂

В таблицах 1 и 2 представлен обзор по целям международных и российских компаний в области снижения выбросов парниковых газов. Информация, представленная в таблицах, носит иллюстративный характер и не содержит исчерпывающих данных обо всех усилиях компаний в области климата.

















Таблица 1. Среднесрочные и долгосрочные цели мировых компаний по секторам






Сектор металлургии и добычи

	2030	2035	2040	2050
				
	Морские перевозки  Выплавка стали  			
				
	 			
				
				
				
	 			










 сокращение выбросов по охватам 1 и 2
  сокращение выбросов по охвату 3
  сокращение выбросов по 3 охватам сразу
  нулевые выбросы
  выбросы по охватам 1, 2, 3

Нефтегазовый сектор

















	2030	2035	2040	2050
				
	Углеродоемкость 		Углеродоемкость 	
	В Норвегии 		В Норвегии 	Углеродоемкость  
				

	2030	2035	2040	2050
	Углеродоемкость 20%	Углеродоемкость 45%		Углеродоемкость CO ₂ neutral 100%
	35% 45%			CO ₂ neutral
	Углеродоемкость 35% 45%			CO ₂ neutral
			CO ₂ neutral	CO ₂ neutral

Энергетический сектор

	2030	2035	2040	2050
	30%		От уровня 2005 г. 95%	CO ₂ neutral
	20%			CO ₂ neutral
	55%			CO ₂ neutral
	80% 16%			CO ₂ neutral
	50%		80%	CO ₂ neutral
	50%			CO ₂ neutral
	80% 20%		90%	CO ₂ neutral
	75% 50%		CO ₂ neutral	CO ₂ neutral

Химическая отрасль

	2030	2035	2040	2050
 We create chemistry				
				
	 ЦДС 28% на тонну			
				
	 к 2025 г.			
	На тонну продукции  от уровня 2015 г.			

Российские компании

Крупный российский бизнес, интегрированный в мировую экономику, подталкивают к снижению углеродного следа внешние факторы: регуляторные риски, требования иностранных бирж, инвесторов и партнеров (все большее их количество отказывается от сотрудничества с компаниями с плохими углеродными характеристиками). В 2020 г. крупная американская инвестиционная компания PIMCO не купила социальные облигации ОАО «Российские железные дороги», так как 50% ее грузооборота приходится на уголь и нефтепродукты.

Самые передовые российские компании оценили свой углеродный след и делают шаги на пути к сокращению выбросов с учетом Парижского соглашения и европейской «Зеленой сделки». Тем не менее, компаний, заявивших о планах добиться нулевых парниковых выбросов к 2050 году, пока единицы: **En+ Group, Татнефть, X5 Retail Group, S7 Airlines.**















«Татнефть» - одна из первых энергетических компаний, присоединившихся к SBTi. В настоящее время реализуется программа по обеспечению углеродной нейтральности по всей цепочке стоимости. Одной из задач является формирование продуктовых линеек с меньшим углеродным следом. Планируется развитие производства с использованием возобновляемой энергии и биотоплива. К перспективному направлению относится применение технологий по улавливанию

и хранению CO₂ (Carbon Capture and Storage). В качестве дополнительных компенсирующих мер Компания реализует программы по высадке леса.

В преддверии COP-26 в Глазго в ноябре 2021 года En+ Group презентует свой план достижения нулевого баланса выбросов к 2050 г.

Кроме того, в большинстве случаев компаниями пока не разработаны планы, в которых четко обозначено, за счет каких инструментов они будут добиваться углеродной нейтральности.

Таблица 2. Среднесрочные и долгосрочные цели российских компаний

	2023	2025	2030	2050
		10%	20%	CO ₂ neutral
			35%	CO ₂ neutral
		10%	30%	CO ₂ neutral
				CO ₂ neutral
			интенсивности в нефтегазодобыче 30% к 2035 г.	
	3,3% к 2020 г.			
	3,5% от уровня 2019 г.			
		15%	35%	
		Углеродоемкость глинозем алюминий 10% 15% от уровня 2014 г.		
			в добыче 6% в произв-ве сжиж. газа 5%	
	Нефтехимия 15% Газопереработка 5%			
		углеродоемкость выбросов 9% от уровня 2014 г.	углеродоемкость производства э/э 7% от уровня 2019 г.	
			33,2% от уровня 2021 г. 20% от уровня 2015 г.	

Инструменты по сокращению выбросов

Внутренняя цена на углерод

Один из инструментов, с помощью которых компании снижают выбросы – внутренняя цена на углерод. Некоторые компании устанавливают цены на объем эмитированного углерода из активов и инвестиционных проектов: так они могут увидеть, каким образом выбросы влияют на финансовые результаты и инвестиционный выбор. Некоторые финансовые компании в США используют цену на углерод, чтобы выявить низкоуглеродные и рентабельные инвестиционные проекты.

Российские компании также начинают использовать внутреннюю цену на углерод. В частности, внутренняя цена на углерод есть у En+ Group, она была введена в 2017 году. Проекты оцениваются по цене 20 долл. за тонну CO₂. Также у «Татнефти» цена на углерод оценивается в 49 долл. за тонну CO₂, у «Лукойла» цена рассматривается 10-60 долл. за тонну. У некоторых компаний внутренняя цена в процессе разработки, как, например, у «ФосАгро».

23% компаний используют внутреннюю цену на углерод

22% компаний планируют ввести в ближайшие 2 года

В энергетике у 40% компаний есть внутренняя цена на углерод

В секторе сырых материалов у 30% компаний есть цена на углерод

В секторе финансовых услуг у 29% компаний есть цена на углерод

В Европе 28% компаний используют внутреннюю цену на углерод.

В Японии – 24%

В Великобритании – 20%

В США – 15%

Исследование [McKinsey](#) по 2600 компаниям, 2021

Цены на углерод различаются по странам. В Европе медианная цена составляет 27 долл. за тонну, в Азии – 18 долл. за тонну.

Углеродные офсетсы

Еще один распространенный инструмент, которым пользуются компании, чтобы снижать свой углеродный след – это покупка офсетов, то есть углеродных единиц, компенсирующих выбросы компании. Растущий рынок офсетов делится на две категории – добровольный и обязательный. Добровольные офсетсы правительства или компании покупают по своему собственному усмотрению, а обязательные могут быть частью государственных климатических схем, как, например, Система торговли квотами на выбросы углерода ЕС (EU ETS) или CORSIA.

С помощью офсетов компании могут инвестировать в проект в другой стране по сокращению выбросов, например, в возобновляемую энергетику или посадку деревьев. В таком случае сокращение углеродных единиц засчитывается компании, инвестировавшей в проект. Важно избегать двойного учета офсетных выбросов, что на практике оказывается сложнее, чем в теории.

Растущий спрос на эти инструменты может помочь увеличить углеродный рынок. Сейчас его размер составляет 400 млн долл., но к 2030 он может вырасти до 10-20 млрд долл., и фактор корпоративного спроса здесь значителен.

Частью офсетных проектов стало формирование рынка низкоуглеродных товаров. Низкоуглеродные товары – это продукты, выбросы у которых подсчитаны и компенсированы с помощью офсетного механизма. В частности, на Лондонской бирже металлов (LME) рассматривают возможность создания отдельного сектора «зеленого» алюминия.

Оценки по размеру рынка обязательных офсетов разнятся от 40 до 120 млрд долл. (Ecosystem Marketplace) Примером обязательных офсетов является схема CORSIA (Carbon Offsetting and Reduction Scheme for International Aviation), действующая в области гражданской авиации. В 2021 году начинается пилотный период, и до 2027 года эта схема будет добровольной для всех стран. Позже она станет обязательной для стран, удовлетворяющим определенным критериям.

Размер рынка добровольных офсетов составил 247,9 млн долл. в 2020 году, и по прогнозам к 2027 году он вырастет до 514,7 млн долл.

На Европу приходится 62,9% купленных добровольных офсетов в 2019 году, на США – 32,6%. Цена за единицу в Европе и США в среднем составляет 3,3 долл., что немного больше, чем в среднем по миру – 3,08 долл.

Самые популярные сектора для европейских покупателей – это лесное хозяйство и природопользование: на эту категорию приходится более 58% углеродных единиц, следующий сектор – возобновляемая энергетика (21%). Промышленные и транспортные офсеты оказались наименее популярными категориями.

По местоположению европейские компании предпочитали заграничные проекты: на Латинскую Америку и Карибские острова пришлось 40% общего объема, на Азию и Африку – по 30%. По странам больше всего проектов в Индии, Перу, Бразилии, Гватемале и Эфиопии. На местные проекты пришлось менее 1%.

В США больше всего офсетов пришлось на обращение с отходами, на втором месте – лесное хозяйство и природопользование. При этом, 80% углеродных единиц приходится на внутренние проекты.

Компании, желающие купить офсеты, могут обратиться к офсет-ритейлерам, которые предоставляют доступ к проектам. Их задача – оценить, поможет ли конкретная покупка офсета сократить выбросы в проекте, что не произошло бы без этих дополнительных инвестиций.

Например, [Cool Effect](#) позволяет покупать офсеты по 2-13 долл. за тонну углерода. В составе компании находятся исследователи, которые оценивают проект с научной точки зрения и подсчитывают потенциальное сокращение выбросов.

Другой ритейлер – [Native Energy](#) – в том числе организует визиты покупателей на площадку проекта, чтобы он смог сам увидеть прогресс. Кроме того, ритейлер держит буферный пул офсетов на тот случай, если какой-либо проект окажется неудачным, чтобы можно было предоставить альтернативу.

Корпоративные климатические инвестиции

На частный сектор приходится 56% всего климатического финансирования, при этом большая часть средств направляется на митигацию. К концу 2020 года рынок зеленого финансирования достиг 1 трлн долл., показав среднегодовые темпы роста на уровне 95% по данным [Climate Bond Initiative](#).

Самые крупные сектора: инвестиции в энергетику составляют 354,7 млрд долл., в низкоуглеродное строительство – 263,5 млрд долл., в транспорт – 190,7 млрд долл.

[Bloomberg New Energy](#) прогнозируют рост новых инвестиций в ветровую и солнечную энергетику в 6 трлн долл. к 2040 году, половина этого потенциала приходится на Азиатско-Тихоокеанский регион.

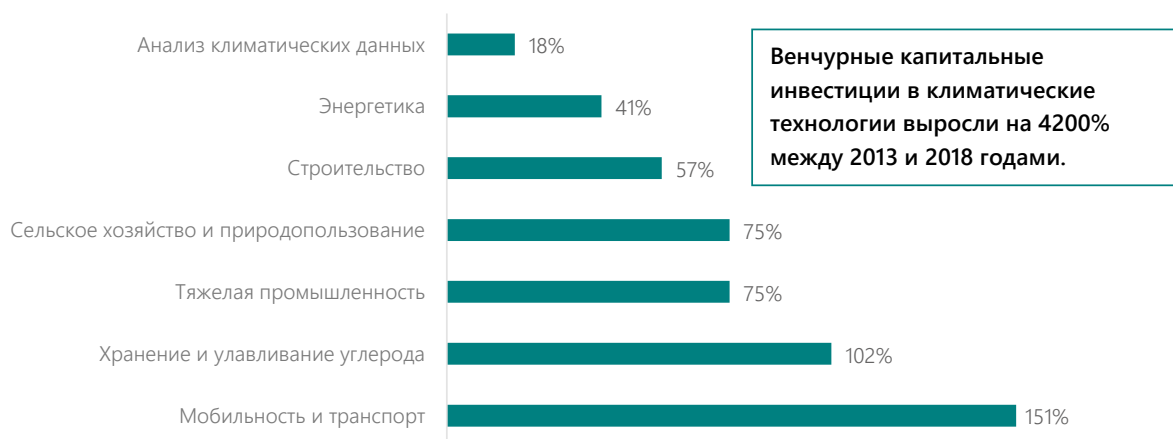
В период COVID-19 сектор зеленых активов и инвестиций проявил себя успешнее, чем традиционные секторы. Объем выпуска зеленых облигаций достиг рекордных 350 млрд долл. в 2020 году, продемонстрировав резкий рост за последний год.

В настоящее время российский рынок зеленых облигаций оценивается в 2,4 млрд долл. по данным [«Эксперт РА»](#).

Сейчас крупнейший российский эмитент устойчивых облигаций – РЖД: компания разместила четыре выпуска зеленых еврооблигаций на сумму 500 млн евро, 500 млн швейцарских франков и 100 млрд руб.

Рынок инвестирования во всем мире продолжает меняться. Согласно отчету PwC, в 2020 году окончательно оформился **новый сегмент венчурного рынка – климатические технологии**, куда уже инвестируют Amazon, Tesla, Google, Microsoft и другие технологические гиганты, что также свидетельствует о долгосрочности тренда на зеленую трансформацию экономики.

Темпы роста венчурных инвестиций, 2013-2019



Данные PwC, 2021

Международные инициативы

Science-Based Targets Initiative – совместная инициатива Глобального договора ООН, Carbon Disclosure Project, WWF и World Resources Institute, которая помогает компаниям устанавливать климатические цели, предлагает ресурсы и руководство, а также оценивает стратегии компаний в области климата.

Carbon Neutral – некоммерческая организация в области устойчивого развития, которая занимается разработкой стандартов для бизнеса по достижению углеродной нейтральности. Они работают с компаниями, помогая им подсчитать углеродный след, поставить цели по нейтральности отдельных продуктов или целой компании, а потом разработать стратегию по снижению выбросов. Клиенты организации – такие компании, как Microsoft, Logitech и др. Также организация занимается сертификацией компаний, которые стали климатически нейтральными, на основе Carbon Neutral Protocol.

The Climate Group – некоммерческая организация, которая работает с бизнесом и правительствами в области изменения климата. В организации существуют несколько инициатив:

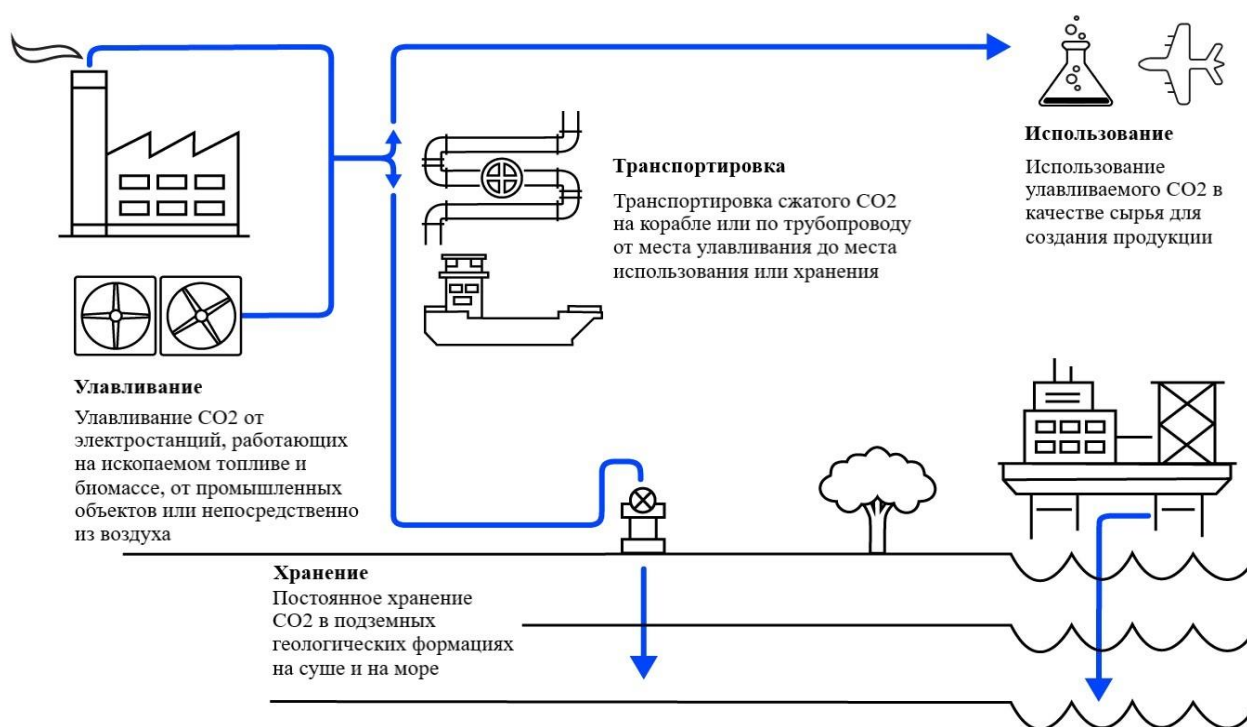
- RE100 – компании, которые взяли обязательства по переходу на 100% на возобновляемые источники энергии.
- EP100 – группа компаний, которые занимаются повышением энергоэффективности.
- EV100 – инициатива по переходу на электрический транспорт к 2030 году.
- LED – энергоэффективность в освещении.
- Climate Week NYC – климатическое мероприятие в Нью-Йорке, на котором участвуют бизнес и правительства.
- RouteZero – инициатива по транспорту с нулевым уровнем выбросов.
- SteelZero – инициатива по переходу к металлургической промышленности с нулевыми выбросами.

Международный альянс по сокращению и компенсации углеродных выбросов (International Carbon Reduction and Offset Alliance, ICROA) – некоммерческая организация, которая занимается сбором и продвижением лучших практик в области использования рыночных механизмов и климатических финансов для борьбы с изменениями климата, а также продвигает коллаборацию между стейкхолдерами.

Climate Action 100+ – инициатива, в которую входит 160 компаний, принимающих на себя обязательства по сокращению углеродных выбросов.

Улавливание, использование и хранение углерода

Улавливание, использование и хранение углерода (CCUS¹) - набор технологий, которые играют важную роль в достижении глобальных целей в области энергетики и изменения климата. CCUS включает улавливание CO₂ из крупных точечных источников, таких как электростанции и промышленные предприятия, использующие ископаемое топливо или биомассу. CO₂ также может улавливаться прямо из атмосферы. Если улавливаемый CO₂ не используется на месте, его сжимают и транспортируют с помощью трубопроводов, кораблей, поездов или грузовиков для использования в различных отраслях, или же помещают в глубокие геологические формации (истощенные нефтегазовые коллекторы, соленосные формации) на окончательное хранение.



Источник: МЭА

¹ Carbon capture, utilisation and storage

На апрель 2021 г. в мире насчитывается 22 предприятия CCUS, способных улавливать более 40 млн тонн CO₂ в год. Некоторые из этих предприятий работают с 1970-1980 гг., с тех пор как заводы по переработке природного газа в округе Вал-Верде, штат Техас, США начали поставлять CO₂ местным производителям нефти для проектов по повышению нефтеотдачи.

Первый крупномасштабный проект по улавливанию и хранению CO₂ был запущен на морском газовом объекте Sleipner в Норвегии в 1996 г. В настоящее время в рамках этого проекта на глубине около 1 км хранится более 20 млн тонн CO₂ в соленосных формациях в Северном море.

Инвестиционные стимулы и цели в области климата придают мощный импульс развитию CCUS. В последние годы было заявлено о планах строительства более 30 коммерческих объектов. Многие из этих планов предполагают создание промышленных «хабов», которые будут улавливать CO₂ от ряда объектов с общей инфраструктурой для транспортировки и хранения CO₂. Одним из таких проектов является углеродная магистраль Альберта (Alberta Carbon Trunk Line) в Канаде, которая начала работать в 2020 г., и запланированный проект Longship в Норвегии.

Помимо коммерческих проектов CCUS, работающих по всему миру, существуют пилотные и демонстрационные проекты CCUS, а также проекты на ранних стадиях разработки.

Демонстрационный проект Tomakomai CCS (Япония)

Демонстрационный проект Tomakomai CCS - первый полномасштабный проект по улавливанию и хранению углерода в Японии, действовал при прибрежном нефтеперерабатывающем заводе на острове Хоккайдо в период с 2016 г. по 2019 г. Установка по производству водорода на заводе производила отходящий газ, содержащий около 50 % углерода, который улавливался в активном процессе с использованием аминов. В рамках проекта улавливалось около 0,1 млн тонн CO₂ в год для его последующей закачки в морские засоленные водоносные горизонты с целью хранения и мониторинга. В конце 2019 г. проект достиг своей

демонстрационной цели в 0,3 млн тонн CO₂ и был приостановлен. Мониторинг хранимого CO₂ продолжается.

Демонстрационным проектом Tomakomai CCS руководит компания Japan CCS Co. Ltd (JCCS), основанная в 2008 г. крупными японскими компаниями, заинтересованными в продвижении технологий CCUS. Целью JCCS является реализация и демонстрация проектов CCUS в Японии, а также исследование смежных технологий в рамках международного сотрудничества. Проект Tomakomai был поручен JCCS в 2012 г. Министерством экономики, торговли и промышленности Японии, а с 2018 г. - Организацией по развитию новой энергетики и промышленных технологий.

Основные показатели проекта

Локация	Томакомай, остров Хоккайдо, Япония
Дата эксплуатации	2016-2019 (мониторинг продолжается)
Модернизированный/новый	Модернизированный
Показатель улавливания, млн тонн/год	0,1
Отрасль	Производство водорода
Сырье	Сжиженный углеводородный газ
Основной вид хранения	Специализированный
Локация хранения	Море
Протяженность транспортировки, км	0,2
Вид транспортировки	Газопровод

Drax BECCS (Великобритания)

Drax Power Limited управляет двумя пилотными биоэнергетическими проектами с улавливанием и хранением углерода (BECCS) на электростанции Drax в Северном Йоркшире, с планами по улавливанию в промышленном масштабе с 2027 г. На существующей электростанции, которая обеспечивает около 6 % энергоснабжения страны, с угля на возобновляемое топливо было переоборудовано четыре из шести энергоблоков. Коммерческая эксплуатация двух оставшихся угольных блоков была прекращена в первом квартале 2021 г.

Первая пилотная установка по улавливанию CO₂ была запущена в 2019 г. с использованием технологии улавливания C-Capture. Проект способен улавливать до одной тонны CO₂ в день. Второй пилотный проект был запущен в 2020 г. с использованием технологии Mitsubishi Heavy Industries, улавливая около 300 кг CO₂ в день для тестирования технологии с дымовым газом биомассы. Долгосрочный план полномасштабного завода предусматривает окончательное подземное хранилище.

В коммерческих масштабах проект Drax BECCS будет частью хаба Zero Carbon Humber CCUS в Великобритании. Этот проект направлен на создание к 2040 г. первого в мире промышленного кластера с нулевыми выбросами, использующим специально построенную сеть трубопроводов для углерода и водорода. Промышленные объекты по всему Хамберу² будут улавливать CO₂ от производимой электроэнергии, водорода и других промышленных процессов. Уловленный CO₂ будет храниться на шельфе в геологических формациях под Северным морем (начальная способность улавливания хаба оценивается в 17 млн тонн CO₂ в год). Объединив производство электроэнергии из возобновляемых источников энергии и биомассы, а также с технологиями CCS, Drax Power Station может стать первой в мире электростанцией с отрицательным уровнем эмиссии углерода к 2027 г., поддерживая декарбонизацию самого углеродоемкого промышленного региона Великобритании.

Основные показатели проекта

Локация	Селби, Северный Йоркшир, Великобритания
Дата эксплуатации	2019: первый пилотный проект, 2020: второй пилотный проект, 2027: первый из четырех энергоблоков, 2030: два энергоблока
Модернизированный/новый	Модернизированный
Показатель улавливания	Первый пилотный проект: 1 тонна в день, второй пилотный проект: 0,3 тонны в день
Отрасль	Электроэнергетика (биомасса)
Сырье	Биомасса
Основной вид хранения	Специализированный (на коммерческом этапе)

² Эстуарий на восточном побережье, образованный реками Трент и Уз в Англии. Впадает в Северное море.

Локация хранения	Море
Протяженность транспортировки, км	-100
Вид транспортировки	Трубопровод для углерода

Northern Lights (Северное море, Норвегия)

Northern Lights начнет свою работу в 2024 г. и станет первой трансграничной открытой сетью инфраструктуры транспортировки и хранения CO₂. Она предоставит компаниям по всей Европе возможность надежного постоянного хранения своего CO₂ под морским дном в Норвегии. Northern Lights строит два специальных танкера, которые будут доставлять уловленный CO₂ на береговой терминал на западном побережье Норвегии, а оттуда транспортировать его по трубопроводу к морскому подземному хранилищу в Северном море. Первая фаза проекта будет завершена в середине 2024 г. с мощностью до 1,5 млн тонн CO₂ в год. Планируется увеличить производственные мощности 3,5-5 млн тонн в зависимости от рыночного спроса. Приемный терминал и морской трубопровод будут построены с перспективой размещения дополнительных объемов.

Northern Lights - партнерство между Equinor, Shell и Total - является ключевой частью Longship, полномасштабного проекта правительства Норвегии по улавливанию и хранению углерода, целью которого является улавливание и хранение около 0,8 млн тонн CO₂ в год к 2024 году на цементном заводе в городе Бревик и на Fortum Oslo Varme, предприятии по переработке отходов в энергию в Осло (при условии дополнительного финансирования). Проект Longship – это результат тесного сотрудничества между государственным предприятием Gassnova и промышленными партнерами. Партнеры Northern Lights завершили деятельность по проектным работам и совместно с правительством Норвегии приняли окончательные инвестиционные решения в 2020 г.

Способность Northern Lights получать уловленный CO₂ от всей Европы означает, что проект может сыграть важную роль в достижении амбициозных целей в области климата не только в Норвегии, но и во всем регионе. Планируется создать как минимум девять предприятий по улавливанию CO₂ в Европе, включая

четыре цементных завода и сталелитейный завод. Планы по оснащению этих объектов системой улавливания CO₂ вряд ли будут реализованы в отсутствие потенциального решения для хранения CO₂, что демонстрирует важность хабов с общей с транспортной инфраструктурой и инфраструктурой хранения в ускорении внедрения технологий CCUS.

Основные показатели проекта

Локация	Северное море и западное побережье Норвегии
Дата эксплуатации	2024
Модернизированный/новый	Новый
Показатели, млн тонн	Первый этап: 1,5, второй этап: 5
Отрасль	Различные
Сырье	Различное
Основной вид хранения	Специализированный
Локация хранения	Море
Протяженность транспортировки, км	110 (от береговых приемных терминалов)
Вид транспортировки	Трубопровод и корабли

Основные технологии улавливания CO₂

Улавливание CO₂ является частью некоторых промышленных процессов, соответственно, технологии отделения или улавливания CO₂ из потоков дымовых газов коммерчески доступны уже несколько десятилетий. Наиболее передовыми и широко применяемыми технологиями улавливания являются химическая абсорбция и физическая сепарация; другие технологии включают в себя мембранную сепарацию и петлевые циклы, такие как химические циклы и кальциевые циклы.

Энергия из ископаемых видов топлива, таких как уголь, нефть и природный газ, высвобождается в процессе сжигания и преобразования, что приводит к выбросу CO₂ в качестве побочного продукта.

В системах, измельчающих уголь в порошок, которые составляют подавляющее большинство угольных электростанций в Северной Америке, Европе и Китае, CO₂ необходимо отделять в разбавленных концентрациях от остатка дымовых газов сгорания. В других системах, например, в газификации угля

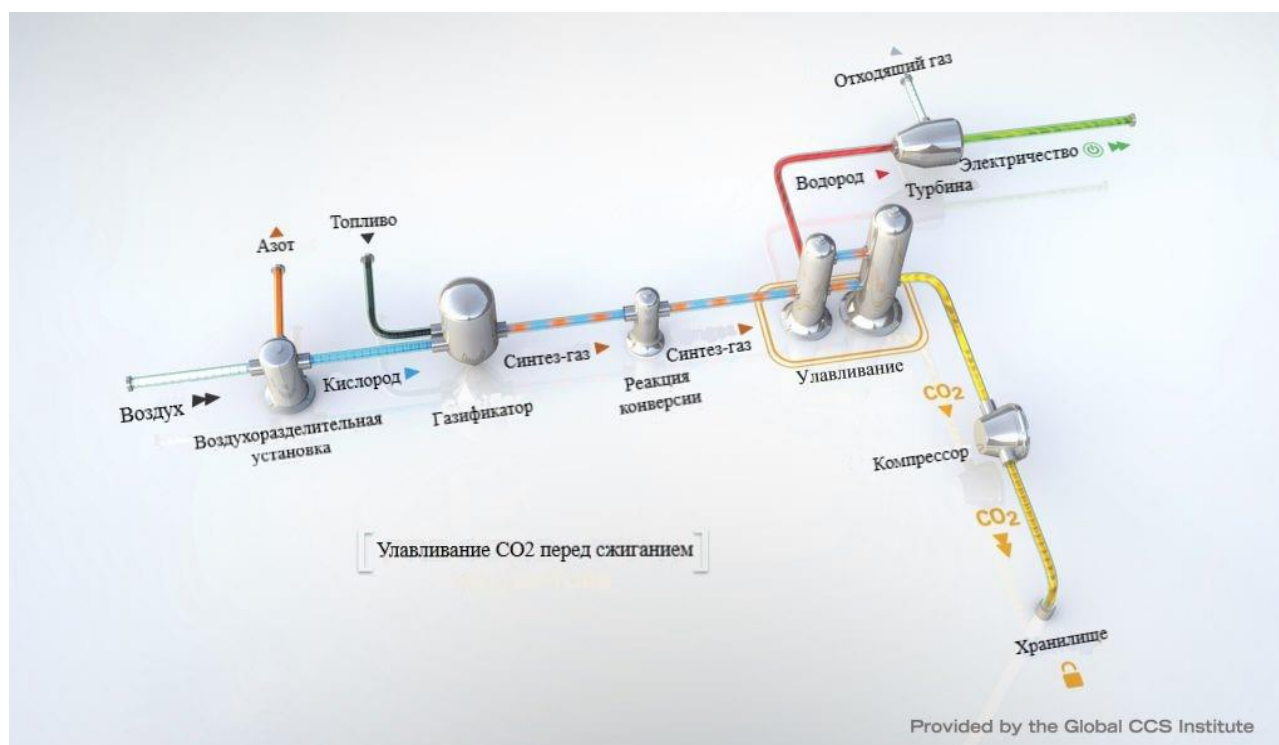
(где уголь превращается в химические вещества, природный газ или жидкости) CO_2 отделить легче.

Существует три основных типа улавливания CO_2 : улавливание до сжигания, улавливание после сжигания и улавливание после сжигания топлива в кислородной среде.

Улавливание до сжигания

В процессе улавливания до сжигания топливо преобразуется в газообразную смесь водорода и CO_2 . Водород отделяется, после чего его можно сжигать без образования CO_2 . Затем CO_2 можно сжать для транспортировки и хранения. Этапы преобразования топлива, необходимые для улавливания до сжигания, сложнее, чем процессы последующего сжигания, что затрудняет применение данной технологии на существующих электростанциях.

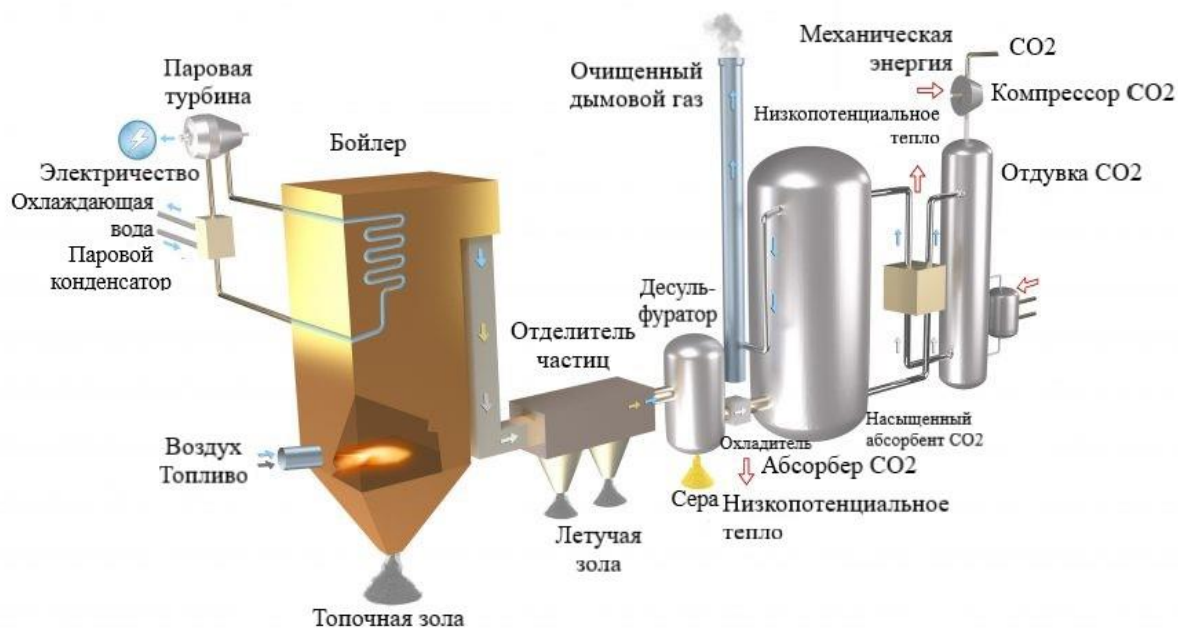
Улавливание перед сжиганием используется в промышленных процессах (например, переработка природного газа), применение в производстве электроэнергии будет осуществляться в рамках новых проектов электростанций.



Улавливание после сжигания

Процесс улавливания после сжигания отделяет CO_2 от выхлопных газов сгорания. CO_2 можно улавливать с помощью жидкого растворителя или других методов сепарации. В методе, основанном на абсорбции, CO_2 выделяется после абсорбции растворителем при нагревании, образуя поток CO_2 высокой чистоты. Эта технология используется для улавливания CO_2 в пищевой промышленности и производстве напитков.

Улавливание после сжигания (процесс абсорбции)

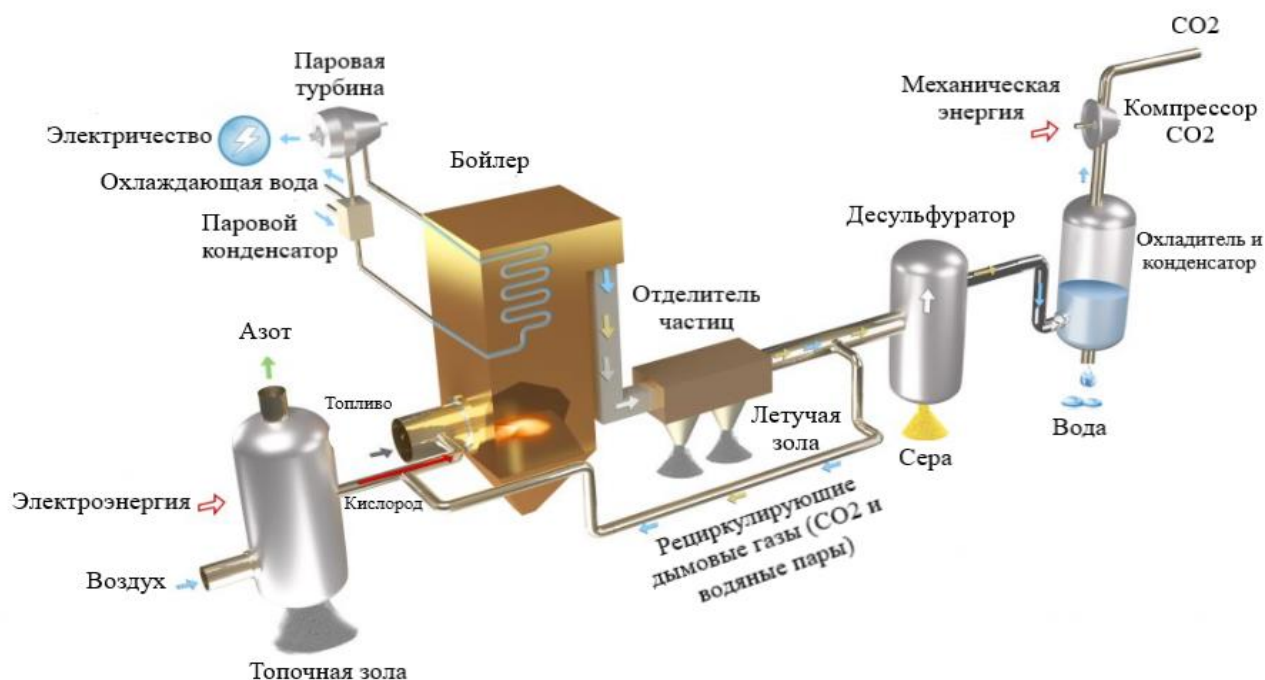


Источник: Global CCS Institute

Улавливание после сжигания топлива в кислородной среде

В данном методе для сжигания используется кислород, а не воздух. При сжигании образуются выхлопные газы, состоящие в основном из водяного пара и CO_2 , которые можно легко разделить для получения потока CO_2 высокой чистоты.

Улавливание после сжигания в кислородной среде



Источник: Global CCS Institute

Технологии улавливания	Общие сведения	Статус технологии
Улавливание CO2 с помощью топливных элементов с расплавленным карбонатным электролитом (MCFC)	Топливный элемент с расплавленным карбонатным электролитом может использоваться в качестве концентратора CO2 из-за химических реакций, происходящих в батарее топливных элементов: углекислый газ, поступающий на катодную сторону, переносится на анодную сторону через ионы CO ₃ ²⁻	В 2019 г. ExxonMobil и FuelCell Energy заключили договор на сумму 60 млн долларов США по оптимизации улавливания с помощью технологии MCFC.
Химическая абсорбция	Обычный технологический процесс, основанный на реакции между CO ₂ и химическими	Широко используется в течение десятилетий и в настоящее время применяется в ряде небольших и

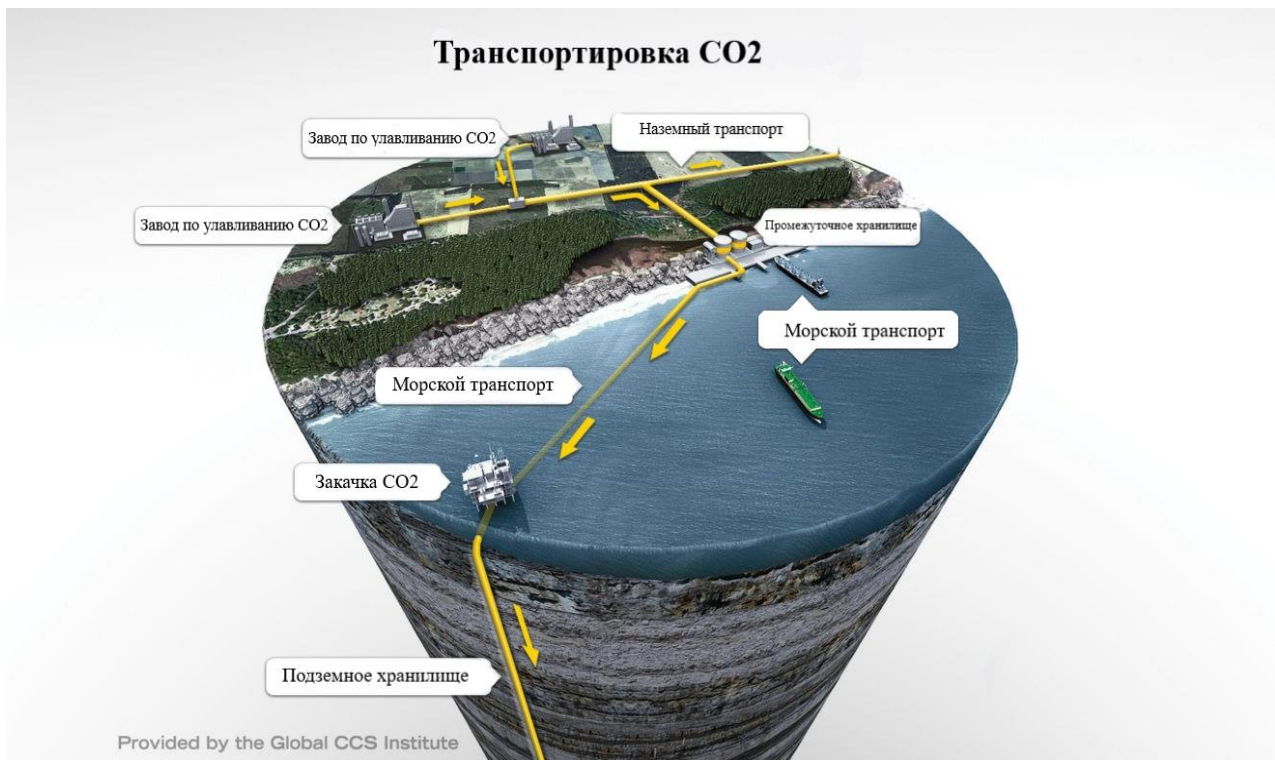
	растворителями (например, соединениями этаноламина). Химическая абсорбция с использованием растворителей на основе амина является наиболее передовыми методом разделения CO ₂	крупных проектов по всему миру в области выработки электроэнергии, переработке топлива и промышленном производстве.
Физическая сепарация	Основано на адсорбции, абсорбции, криогенной сепарации или дегидрации и сжатии. Для физической адсорбции используется твердая поверхность (например, активированный уголь, оксид алюминия, оксиды металлов или цеолиты), в то время как для физической абсорбции используется жидкий растворитель (например, селексол или ректизол). После улавливания с помощью адсорбента CO ₂ выделяется при повышении температуры (адсорбция с переменной температурой) или давления (адсорбция с переменным давлением или короткоцикловая адсорбция)	В настоящее время используется в основном в переработке природного газа и производстве этанола, метанола и водорода на девяти промышленных предприятиях.
Разделение обогащенного кислородом топлива	Включает сжигание топлива с использованием почти чистого кислорода и последующего улавливание CO ₂ . Поскольку дымовой газ состоит почти исключительно из CO ₂ и водяного пара, последний может быть легко удален с помощью обезвоживания для получения CO ₂ высокой чистоты.	В настоящее время на стадии крупного прототипа/предварительной демонстрации. Реализован ряд проектов в угольной энергетике и производстве цемента.
Мембранная сепарация	Основано на полимерных и неорганических устройствах (мембранах) с высокой селективностью по CO ₂ , которые пропускают CO ₂ , но действуют как барьеры для удержания других газов в газовом потоке.	Готовность технологии варьируется в зависимости от топлива и области применения. В переработке природного газа она находится на демонстрационной стадии. Единственная существующая крупная установка по улавливанию,

		основанная на мембранной сепарации, принадлежит компании Petrobras в Бразилии. Мембраны для удаления CO ₂ из синтез-газа и биогаза уже есть в продаже, а мембраны для очистки дымовых газов в настоящее время находятся в стадии разработки.
Циклы кальция	Включает улавливание CO ₂ при высокой температуре с использованием двух основных реакторов. В первом реакторе известь (CaO) используется в качестве сорбента для улавливания CO ₂ из газового потока с образованием карбоната кальция (CaCO ₃). Затем CaCO ₃ транспортируется во второй реактор, где он регенерируется, в результате чего образуется CaO и чистый поток CO ₂ . Затем известь возвращается в первый реактор.	В настоящее время на пилотной/докоммерческой стадии. Технология была испытана в системах сжигания в кипящем слое угля и на производствах цемента.
Химические циклы	Двухреакторная технология, как и циклы кальция. В первом реакторе маленькие частицы металла (например, железа или марганца) используются для связывания кислорода из воздуха с образованием оксида металла, который затем транспортируется во второй реактор, где вступает в реакцию с топливом, производя энергию и концентрированный поток CO ₂ , регенерирующий восстановленную форму металла. Далее металл возвращается в первый реактор	Эта технология была протестирована в ходе около 35 пилотных проектов по сжиганию угля, газа, нефти и биомассы.
Прямая сепарация	Включает улавливание технологических выбросов CO ₂ при производстве цемента путем косвенного нагрева известняка с помощью специального кальцинатора. Эта технология	В настоящее время тестируется в пилотных проектах, таких как установка по производству извести и цемента с низким уровнем выбросов (LEILAC), разработанная

	удаляет CO ₂ непосредственно из известняка, не смешивая его с другими газами сгорания, что значительно снижает затраты энергии, связанные с разделением газа.	Calix на заводе HeidelbergCement в городе Ликше в Бельгии.
Энергетические циклы сверхкритического CO ₂	В то время как на обычных тепловых электростанциях дымовой газ или пар используются для привода одной или нескольких турбин, в энергетических циклах сверхкритического CO ₂ вместо него используется сверхкритический CO ₂ (т.е. CO ₂ выше своей критической температуры и давления). Сверхкритические турбины на CO ₂ обычно используют почти чистый кислород для сжигания топлива, чтобы получить дымовой газ, состоящий только из CO ₂ и водяного пара.	В настоящее время работают два прототипа/демонстрационных проекта с энергетическими циклами сверхкритического CO ₂ : цикл NET Power's Allam и цикл Trigen Clean Energy Systems (CES).

Транспортировка CO₂

Наличие инфраструктуры для безопасной и надежной транспортировки CO₂ имеет важное значение для внедрения технологий CCUS. Двумя основными вариантами транспортировки CO₂ являются трубопроводы и морские суда, хотя на короткие расстояния небольшие объемы CO₂ также можно транспортировать автомобильным и железнодорожным транспортом (с более высокими затратами на тонну CO₂).



Трубопроводы – самый дешевый способ транспортировки CO₂ в больших количествах на суше и, в зависимости от расстояния и веса, на море. Транспортировка по трубопроводу практикуется в течение многих лет и широко используется. В Северной Америке существует разветвленная сеть трубопроводов для CO₂ на суше общей протяженностью более 8000 км.

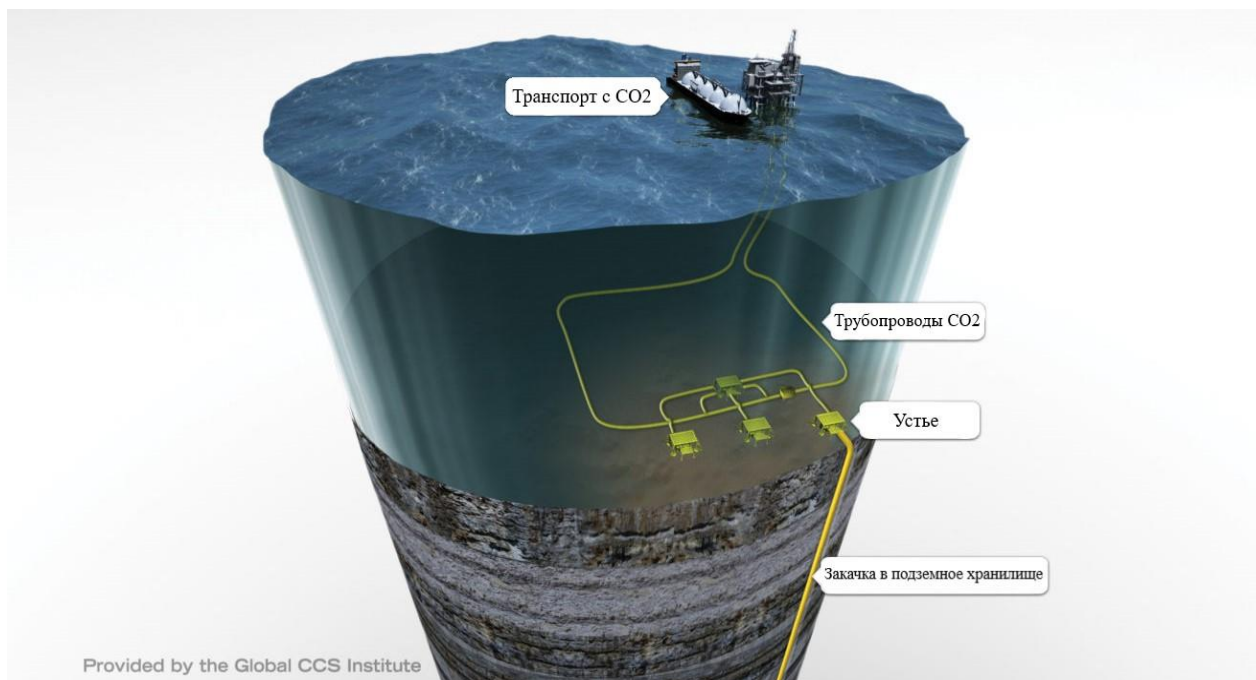


Источник: Global CCS Institute

В настоящее время CO_2 поставляется в небольших количествах для использования в пищевой промышленности и производстве напитков, однако крупномасштабная транспортировка CO_2 морским транспортом еще не налажена. Она имеет сходство с транспортировкой сжиженного нефтяного газа (СНГ) и сжиженного природного газа (СПГ). Норвежский проект Longship CCS станет первым проектом по транспортировке больших объемов CO_2 к морскому хранилищу.

Транспортировка CO_2 морским транспортом обеспечивает большую гибкость, чем транспортировка по трубопроводам, особенно там, где имеется более одного морского хранилища CO_2 . Судоходство также может облегчить начальную разработку центров улавливания CO_2 (региональных кластеров), которые позже можно будет преобразовать в постоянную сеть трубопроводов по мере роста объема CO_2 . В некоторых случаях морские перевозки могут быть рентабельным вариантом транспортировки, особенно для перевозки на дальние расстояния, что может потребоваться странам с ограниченными внутренними ресурсами для хранения.

Морская транспортировка и хранение CO₂



Хабы, кластеры и транспортные сети CO₂

Первоначальный спрос на дополнительные мощности по транспортировке CO₂, вероятно, будет развиваться постепенно географически рассредоточенным образом по мере ввода в эксплуатацию новых специализированных заводов по улавливанию и появления новых хранилищ.

Крупномасштабное внедрение технологий CCS может привести к подключению ближайших источников CO₂ через хаб к кластерам хранилищ либо с помощью кораблей, либо с помощью «магистральных» трубопроводов.

К **кластерам CO₂** может относиться группа источников CO₂, а также места хранения CO₂ в пределах одного региона. В Пермском бассейне в США есть несколько кластеров нефтяных месторождений, которые обогащаются CO₂ с помощью сети трубопроводов.

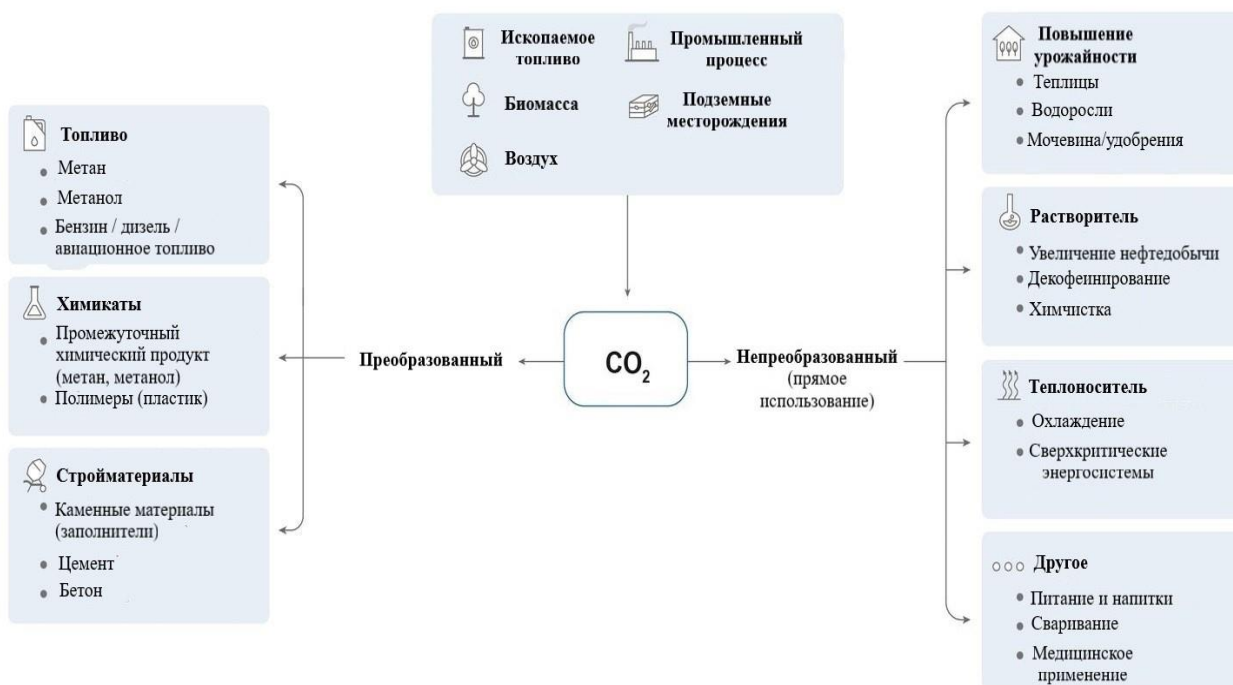
В **хабе CO₂** собирается CO₂ из различных источников и перераспределяется в одно или несколько хранилищ. Например, проект South West Hub в Западной Австралии направлен на сбор CO₂ из различных источников промышленных

районов Куинана и Колли для хранения в формации Лесуэйр в Южном бассейне Перта.

Сеть CO₂ – это разветвленная инфраструктура сбора и транспортировки, обеспечивающая доступ к множеству источников выбросов CO₂.

Использование CO₂

CO₂ можно использовать в качестве сырья для ряда продукции и услуг. Потенциальные области применения CO₂ включают прямое использование, в котором CO₂ химически не изменяется (без преобразования), и преобразование CO₂ в полезную продукцию с помощью химических и биологических процессов.



Источник: МЭА

В настоящее время в мире ежегодно используется около 230 млн тонн CO₂, в основном для производства удобрений (125 млн тонн в год) и для повышения нефтеотдачи (70-80 млн тонн в год). Среди других коммерческих применений CO₂: производство продуктов питания и напитков, охлаждение, очистка воды, теплицы. Среди новых применений CO₂: топливо (использование углерода

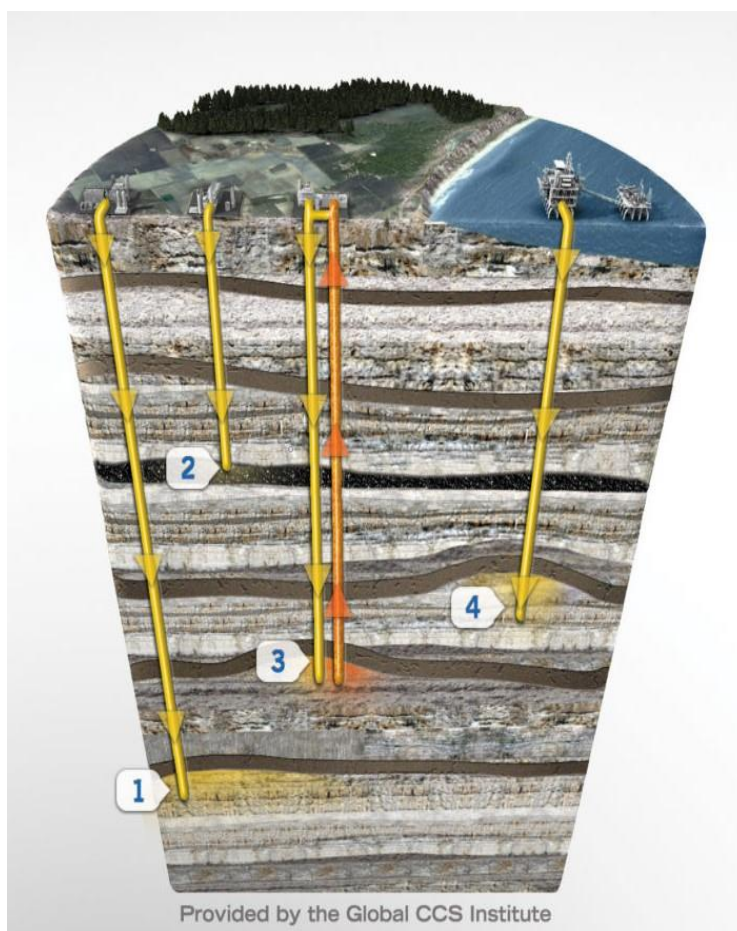
для преобразования водорода в синтетическое углеводородное топливо), химикаты (использование углерода в качестве альтернативы ископаемому топливу при производстве некоторых химикатов), строительные материалы (использование CO_2 для замены воды в бетоне или в качестве сырья для его компонентов).

Хранение CO_2

Хранение выбросов углекислого газа под землей помогает бороться с изменением климата, удерживая парниковые газы вне атмосферы.

Существует множество геологических систем, которые естественным образом удерживают CO_2 и хранят его на протяжении тысячелетий. Кроме того, нефтегазовая промышленность давно использует CO_2 для увеличения нефтеотдачи.

1. Соленосная формация
2. Закачка в глубокие невыработанные угольные пласты
3. Использование CO_2 в увеличении нефтеотдачи
4. Истощенные коллекторы нефти и газа.



Подземное хранение включает закачку CO_2 , уловленного в результате промышленных процессов, в пласты горных пород, тем самым навсегда убирая его из атмосферы.

Обычно у эффективных мест хранения есть следующие геологические характеристики:

- В пластах горных пород достаточно пустот или пор миллиметрового размера, чтобы обеспечить возможность хранения CO_2
- Поры в породе достаточно проницаемы, чтобы принимать CO_2 с той скоростью, с которой он закачивается, позволяя CO_2 перемещаться и распространяться по пласту
- Имеется широкая перекрывающая горная порода сверху пласта для постоянного удержания CO_2 .

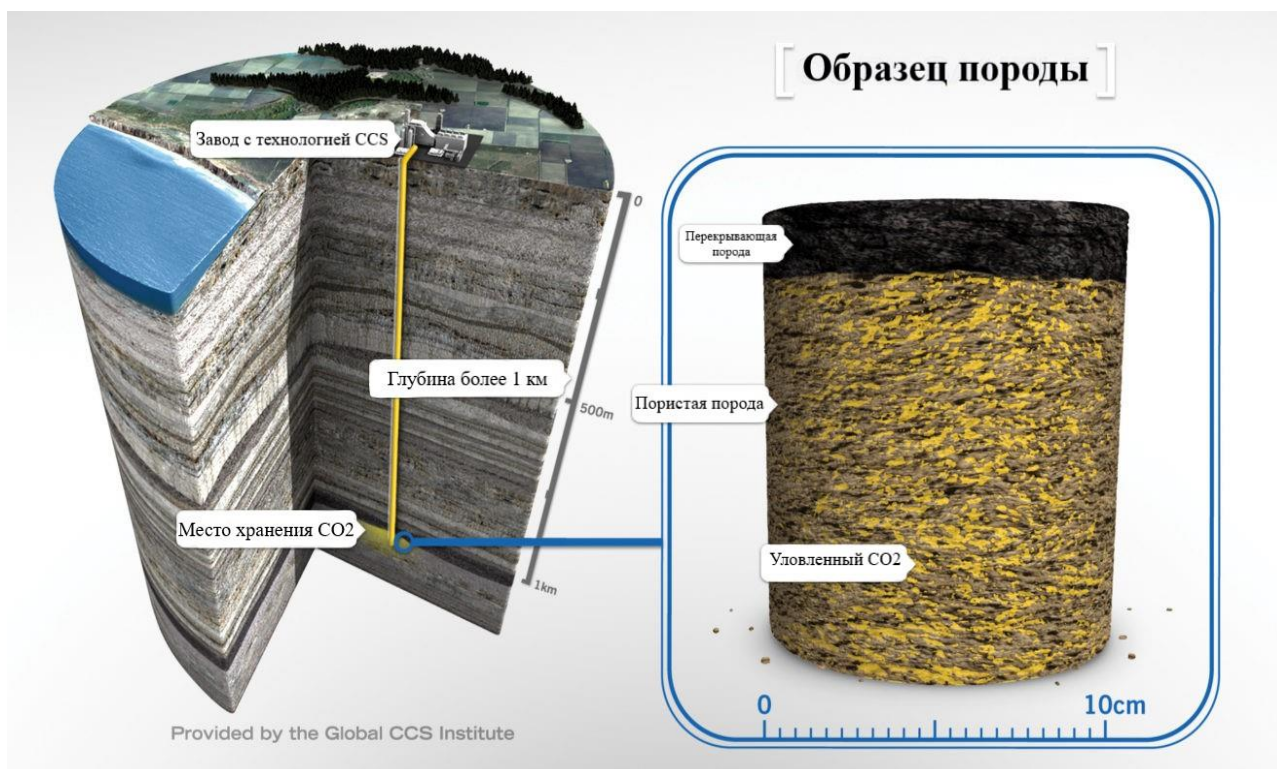
В мире есть много образований с такими характеристиками; большинство из них находятся в больших геологических объектах, которые называются осадочные бассейны. Практически вся добыча нефти и газа происходит в осадочных бассейнах, к образованиям, в которых добывают нефть и газ (а также CO_2 естественного происхождения), относятся песчаники, известняки и доломиты. Эти образования являются хорошими резервуарами для хранения CO_2 .

Безопасное хранение CO_2 в геологических формациях является жизнеспособным вариантом, так как формации с такими же геологическими характеристиками были способны хранить нефть и газ миллионы лет до их обнаружения. Многие месторождения угля также связаны с осадочными бассейнами, поэтому угольные электростанции, являющиеся источником существенных выбросов CO_2 , иногда могут быть размещены рядом с местами хранения. В других случаях и для других отраслей промышленности подходящие места хранения могут находиться на значительных расстояниях.

1. Под **глубокими соленосными формациями** подразумеваются любые образования с соленой водой (вода может быть от слегка солоноватой

до многократно превышающей концентрацию морской воды). Солевые формации закрыты перекрывающей породой для постоянного хранения.

2. **Метан угольных пластов:** CO_2 закачивается в угольные пласты для обмена CO_2 с метаном. CO_2 вводится к углю для постоянного хранения. В настоящее время этот тип хранилища находится на стадии исследований, эксплуатационных проектов нет.
3. **Метод увеличения нефтеотдачи** – закачка CO_2 для увеличения добычи нефти на месторождениях поздней стадии разработки.
4. **Истощенные нефтяные и газовые месторождения,** которые больше не являются рентабельными для добычи нефти и газа, но обладают установленными характеристиками добычи и хранения.

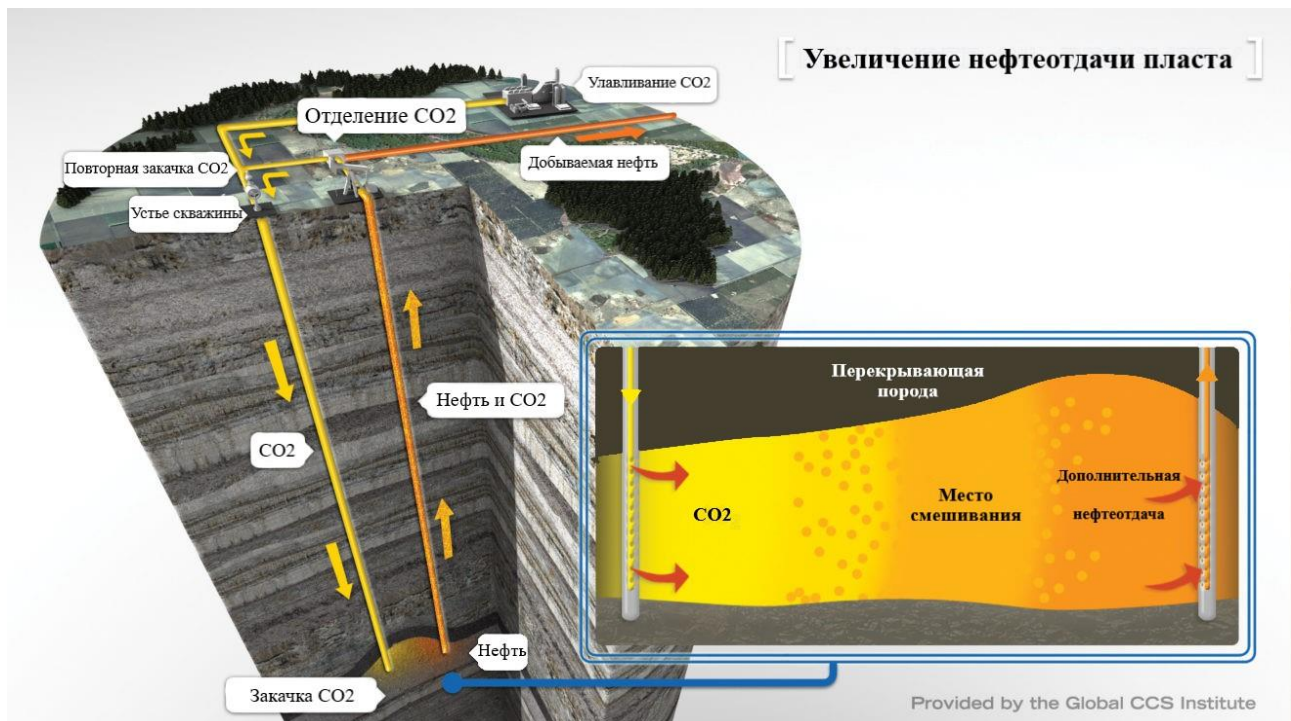


CO₂ для увеличения нефтеотдачи

Закачка CO₂ в нефтяные месторождения поздней стадии разработки является методом увеличения нефтеотдачи уже около 40 лет.

Увеличение нефтеотдачи – это набор методов, которые могут применяться к месторождениям с уменьшающейся нефтедобычей для ее поддержания и повышения. Большинство месторождений, рассматриваемых для увеличения нефтеотдачи, уже подверглись добыче первичным методом, по которому пластовое давление выводит нефть на поверхность, и вторичным методом, обычно путем закачки воды для восстановления пластового давления.

Использование CO₂ для увеличения нефтеотдачи доказало свою эффективность в восстановлении нефтедобычи на месторождениях поздней стадии разработки и продлении их срока службы на десятилетия. Степень увеличения добычи в значительной степени зависит от характеристик месторождения и состава нефти, не все нефтяные месторождения подходят для увеличения нефтеотдачи с помощью CO₂.



Хранение CO₂ заключается в закачке уловленного CO₂ в глубокий подземный геологический резервуар из пористой породы, перекрытый непроницаемым слоем породы, который изолирует резервуар и предотвращает утечку CO₂ в атмосферу. Существует несколько типов резервуаров, подходящих для хранения CO₂: глубокие соляные образования и истощенные резервуары нефти и газа с наибольшей емкостью. Глубокие соляные образования представляют собой слои пористых проницаемых пород, насыщенных соленой водой, которые распространены как в прибрежных, так и в морских осадочных бассейнах. Истощенные нефтяные и газовые резервуары представляют собой пористые горные образования, в которых миллионы лет до их извлечения содержались сырая нефть и газ. Аналогичным образом они могут хранить закачанный CO₂.

Когда CO₂ закачивается в резервуар, он проходит через него, заполняя поровое пространство. Сначала обычно сжимают газ, чтобы увеличить его плотность. Резервуар, как правило, должен находиться на глубине более 800 метров, чтобы удерживать CO₂ в плотном жидком состоянии.

Хранение CO₂ в базальтах (вулканических породах) с высокими концентрациями химически активных веществ также возможно, но оно находится на ранней стадии разработки. Закачиваемый CO₂ вступает в реакцию с химическими компонентами с образованием стабильных минералов, удерживающих CO₂.

Считается, что глобальные ресурсы хранения CO₂ намного превышают будущие потребности. Однако во многих регионах в дальнейшем требуется провести дополнительную оценку, чтобы преобразовать «теоретические» емкости хранения в применяемые на практике для стимулирования инвестиций в CCUS.

Роль CCUS в снижении углеродного следа

Технологии CCUS могут помочь сократить негативные выбросы в атмосферу и компенсировать в отраслях, где достижение нулевого уровня

выбросов может быть экономически или технически нецелесообразным. Есть два основных подхода:

1. **Биоэнергетика с улавливанием и хранением углерода (BECCS)** включает улавливание и постоянное хранение CO_2 от процессов, в которых биомасса (которая извлекает CO_2 из атмосферы по мере ее роста) сжигается для получения энергии. Электростанция, работающая на биомассе и оснащенная CCUS, является разновидностью технологии BECCS, как и установки, перерабатывающие биомассу в биотопливо, если образующийся CO_2 улавливается и хранится.
2. **Прямое улавливание из воздуха (DAC)** включает улавливание CO_2 непосредственно из окружающего воздуха, а не из точечного источника. CO_2 можно использовать, например, как сырье для синтетического топлива или его можно хранить для удаления углерода из атмосферы.

Технологии CCUS играют стратегическую роль в переходе к нулевым выбросам:

1. **Решение проблемы выбросов от существующих предприятий.** Технологии CCUS могут быть модернизированы для существующих электростанций и промышленных предприятий, которые в противном случае могут выбросить 600 млрд тонн CO_2 в течение следующих пяти десятилетий.
2. **Рентабельный способ производства низкоуглеродного водорода.** CCUS может поддерживать быстрое наращивание производства низкоуглеродного водорода для удовлетворения текущего и будущего спроса в транспортной промышленности и промышленном производстве. CCUS – один из основных способов производства низкоуглеродного водорода.

3. **Решение для самых серьезных выбросов.** На тяжелую промышленность приходится почти 20% мировых выбросов CO₂. CCUS – практически единственное технологическое решение для значительного сокращения выбросов при производстве цемента. Кроме того, во многих регионах это наиболее рентабельный подход к сокращению выбросов при производстве чугуна, стали и химикатов. Улавливание CO₂ является важной частью цепочки поставок синтетического топлива из углерода и водорода – одного из немногих низкоуглеродных вариантов для перевозок на большие расстояния, особенно в авиации.
4. **Изымание углерода из атмосферы.** В отношении выбросов, которых нельзя избежать или сократить напрямую, CCUS предлагает подход к изыманию углерода из атмосферы и созданию системы энергопотребления с нулевыми выбросами.

Уровни готовности технологий CCUS

Прим.: синий цвет – развитая технология, зеленый цвет – скорейшее внедрение технологии, желтый цвет – технологии на демонстрационной стадии, оранжевый цвет – технологии на стадии крупного прототипа

Улавливание CO₂ по отраслям

Химикаты	Металлургия	Цемент	Прямое улавливание из воздуха	Производство топлива	Производство электроэнергии
Аммиак - химическая абсорбция	Железо прямого восстановления - химическая абсорбция	Химическая абсорбция	Твердые системы	Переработка природного газа	Уголь - химическая абсорбция
Аммиак - физическая абсорбция	Восстановительная плавка – обогащение кислородом - физическая адсорбция	Циклы кальция	Жидкие системы	Водород из газа с улавливанием CO ₂	Уголь - обогащение кислородом
Метанол - химическая абсорбция	Доменные печи – обогащение технологического газа водородом - химическая абсорбция	Обогащение кислородом		Биометан с улавливанием CO ₂	Уголь – предварительная обработка
Метанол – физическая абсорбция	Железо прямого восстановления - физическая адсорбция	Физическая адсорбция		Этанол из сахара/крахмала с улавливанием CO ₂	Природный газ - химическая абсорбция
Метанол – физическая адсорбция		Прямая сепарация		Этанол из лигноцеллюлозы с улавливанием CO ₂	Биомасса - химическая абсорбция
Дорогостоящие химикаты - физическая абсорбция				Водород из угля с улавливанием CO ₂	
Дорогостоящие химикаты - химическая абсорбция					
Аммиак - физическая адсорбция					

Транспортировка CO₂

Трубопроводы	Судна – от порта в порт	Судна – от порта в море
--------------	-------------------------	-------------------------

Хранение CO₂

Повышение нефтеотдачи	Соляные образования	Истощенные нефтегазовые месторождения
-----------------------	---------------------	---------------------------------------

Использование CO₂

Мочевина	Бетон	Метанол	Синтетический метан	Синтетические жидкие углеводороды
----------	-------	---------	---------------------	-----------------------------------

Источник: *Департамент
многостороннего экономического
сотрудничества Минэкономразвития
России*