

# СОДЕРЖАНИЕ

Предисловие .....	5
Вступление .....	9
Ветер перемен.....	11
Солнечная энергетика .....	25
Ветроэнергетика.....	41
Биоэнергетика .....	51
Геотермальная энергетика и тепловые насосы .....	63
Гидроэнергетика .....	69
Транспорт без нефти.....	75
Здания — энергоэффективность и использование ВИЭ.....	85
Нестабильность ВИЭ и системы хранения энергии.....	95
Экономика возобновляемой энергетики: «дороговизна» и субсидии.....	105
Запад и Восток: Германия и Китай.....	123
2050: Сбалансированная энергетическая система с доминированием ВИЭ.....	139
Что делать «энергетической сверхдержаве».....	161
Послесловие .....	181

Благодарности.....	185
Об авторе .....	187
Ссылки и примечания.....	189
Предметный указатель.....	203

## ПРЕДИСЛОВИЕ

Будущее наступает внезапно, особенно если вы не следите за новостями. И энергетическая революция, призрак которой уже давненько бродит по миру, в этом смысле не исключение. Пока одни из всех сил готовятся к приходу новой эпохи (и приближают ее), другие с сизифовым упорством зарываются все глубже в землю для добычи сгораемых энергоресурсов. Шутка ли: последние два века, прошедшие с момента изобретения двигателя внутреннего сгорания и начала промышленной революции, прошли под знаком равенства между прогрессом и ростом благосостояния, с одной стороны, и сжиганием нефти, угля и газа — с другой. Символом экономического роста стал смог над Пекином, символом личного успеха — мощные автомобили.

Но в один прекрасный день много лет назад хитроумные датчане ни с того ни с сего начали пересаживаться на велосипеды и застраивать прибрежные регионы «садами» из ветряных электростанций. В результате сегодня маленькая, но гордая Дания получает почти 40% своей энергии от ветряков. А две трети депутатов датского парламента приезжают на заседания на велосипедах. А Норвегия, один из главных поставщиков природного газа на европейский рынок, практически целиком обеспечивает себя энергией, вырабатываемой на ГЭС. Что это? Скандинавский идеализм? Забота о природе и будущих поколениях? Экологическое мышление? Думаю, дело не только в этом.

В 1992 г. один из лозунгов команды Билла Клинтона, претендовавшего тогда на пост президента США, звучал как: «It's the

есопоту, stupid», что в вольном переводе с английского значит: «Все дело в экономике, дураки». Харизматик из Арканзаса зрел в корень проблем: в основе человеческих поступков лежат не только абстрактные идеалы, какими бы замечательными они нам ни казались, но и вполне конкретные интересы, которые можно выразить в долларах, рублях и юанях. Так вот, судя по всему, ведущие инвесторы и промышленные державы мира всерьез рассматривают возобновляемую энергетику в качестве индустрии будущего. Во всяком случае объемы вложений в строительство солнечных и ветряных электростанций растут год от года.

В своей книге Владимир Сидорович наглядно показывает, как самые разные страны мира под угрозой надвигающейся на человечество климатической катастрофы в сочетании с прагматическим подходом к будущему энергетике дружно инвестируют в технологии, не связанные со сжиганием ископаемых видов топлива. Он предлагает увлекательное кругосветное путешествие по странам, правительства и граждане которых не просто заглянули в будущее, но и активно начали к нему готовиться. Причем двигает ими не только идеализм, но и простое человеческое желание сэкономить.

Впрочем, в некоторых местах будущее уже настало. В Баварии, например, уже есть деревни, которые не только перешли на полное самообеспечение электричеством, но и зарабатывают миллионы евро в год (!) на продаже излишков энергии в национальную электросеть. Правительство все той же Дании поставило амбициозную цель — к 2050 г. полностью освободить страну от сгораемых источников энергии, а на четверть века раньше, уже к 2025 г., Копенгаген собирается первым из мировых столиц перейти на «нулевой углеродный след», т. е. свести к нулю городские выбросы углекислого газа. Фантастика? Нет, суровая европейская реальность.

Посмотрим на Китай, главную мировую кузницу и по совместительству ведущего планетного «загрязнителя». Прагматичные китайцы ежегодно строят десятки гигаватт солнечных и ветряных электростанций, спасая свою окружающую среду и при этом создавая тысячи новых производств и миллионы рабочих мест.

Наивно было бы полагать, что на фоне этого всемирного «возобновляемого помешательства» нефтедобывающие страны

забросят свои скважины и месторождения и ринутся инвестировать в ветряки и солнечные батареи. Да и глупо было бы на их месте не использовать имеющиеся ресурсы, на которые по-прежнему есть вполне устойчивый спрос на мировом рынке. В конце концов, люди хотят улучшения своей жизни уже сейчас, а не к какому-то абстрактному 2050 г.

Но и заглянуть в будущее мировой энергетики никому не помешает. Тем более что оно наступает быстрее, чем мы думаем.

*Владимир Есипов,  
главный редактор журнала GEO*



## ВСТУПЛЕНИЕ

Минувшее столетие человеческой истории прошло под знаком углеводородов — ископаемого сырья. Электрический свет, автомобильный транспорт, теплый дом, авиация и многие другие воспринимаемые нами как естественные и обычные жизненные блага появились благодаря тому, что человек научился извлекать энергию из природных ресурсов с высоким энергетическим содержанием (угля, нефти, природного газа). С ее помощью люди преобразовали Землю до неузнаваемости и создали для определенной части человечества современное «общество всеобщего благоденствия».

Почти вся энергия, используемая сегодня на Земле, берет свое начало в недрах планеты. Неудивительно, что обладание ископаемыми ресурсами, умение их извлекать и обрабатывать дает практически неограниченную земную власть. Кто владеет энергией — тот владеет миром. Эта власть назначает и смещает президентов, покупает политиков, ведет войны.

И вот на наших глазах разворачивается мировая драма: энергия, производимая на основе возобновляемых источников, с каждым днем все больше теснит сырьевую власть, сокращая сферу приложения углеводородов.

Еще вчера возобновляемые источники энергии (ВИЭ) практически не использовались, солнце светило, ветер дул, а человек лишь изредка «препарировал» их в научных лабораториях и применял на космических орбитальных станциях. Но сегодня все изменилось. Распробовав по-настоящему бесконечный потенциал

## Мировая энергетическая революция

возобновляемых источников энергии, научившись использовать его легко и непринужденно, человечество уже не выпустит чистую энергию из своих рук.

За десятилетие с 2004 по 2013 г. установленная мощность солнечных электростанций в мире выросла в 53 раза. К 2040 г. солнечная энергетика станет крупнейшим источником электроэнергии в мире согласно сегодняшнему прогнозу Международного энергетического агентства, которое не отличалось ранее оптимизмом в отношении ВИЭ. В 2014 г. в Европейском союзе 79% вновь введенных генерирующих мощностей приходилось на возобновляемую энергетику. Энергия ветра уже сегодня позволяет вырабатывать самое дешевое электричество на Земле. В Китае ветроэнергетика уже с 2012 г. дает больше электричества, чем атомные электростанции. Только за один 2014 г. Китай построил 20,7 ГВт новых ветроэнергетических мощностей (это больше, чем три Саяно-Шушенские ГЭС). К 2025 г. в Европе перестанут продавать легковые автомобили с бензиновым двигателем. Германия, которая сегодня останавливает свои ядерные реакторы, к 2050 г. будет получать 80% электроэнергии из возобновляемых источников, и многие считают эти планы чересчур консервативными.

Это лишь мизерная доля фактов и прогнозов, о которых я расскажу в данной книге. И большинство из них свидетельствует об одном: о закате и скором конце сырьевой власти.



# ВЕТЕР ПЕРЕМЕН

Когда дуют ветры перемен, одни возводят  
стены, другие — ветряные мельницы.

*Китайская пословица*

Ископаемое топливо сегодня, как и прежде, играет первостепенную роль в обеспечении человечества энергией. В 1973 г. на нефть, природный газ и уголь в совокупности приходилось 86,7% мирового предложения первичной энергии, в 2012 г. их доля сократилась до 81,7%, но при этом сам пирог вырос более чем в два раза. В глобальном производстве электричества углеводороды также доминируют, давая сегодня около 70% электроэнергии, еще около 11% вырабатывают атомные электростанции<sup>1</sup>. Свет, тепло, транспорт — основные сферы жизнеобеспечения — по-прежнему находятся в руках сырьевых магнатов.

В то же время энергетические и сырьевые рынки быстро меняются. Возобновляемая энергетика стремительно распространяется по свету. В 2013 г. энергия ветра покрыла 33,2% потребления электричества в Дании и 20,9% в Испании, став крупнейшим источником электроэнергии в этих странах. Солнечная энергетика обеспечила электричеством Италию на 7,8%<sup>2</sup>, в Германии доля возобновляемой энергетики в 2014 г. в производстве электричества составила примерно 27%<sup>3</sup>. С 2004 по 2013 г. установленная мощность ветряных электростанций выросла в мире в восемь раз<sup>4</sup>, а число занятых в отраслях возобновляемой энергетики сегодня приблизилось к 7 млн. В таких ядерных державах, как Германия, Великобритания и Китай, возобновляемая энергетика уже дает больше электричества, чем атомная. Несмотря на падение цен на нефть, инвестиции в возобновляемую энергетику в 2014 г. выросли на 16%, их годовой объем составил \$310 млрд,

а с 2004 г. совокупный объем мировых инвестиций в ВИЭ превысил \$2 трлн<sup>6</sup>.

Большие электростанции станут в Европе лишними через 10–20 лет, поскольку электромобили, дешевые аккумуляторы и новые солнечные технологии коренным образом изменят способ производства, хранения и распределения электроэнергии, считают аналитики банка UBS<sup>7</sup>.

Многие страны, регионы, города, корпорации, некоммерческие организации перешли или взяли на себя обязательства перейти на безуглеродное энергоснабжение в течение ближайших десятилетий<sup>8</sup>.

Все это сигналы мировой энергетической революции. Начавшись в экономически развитых странах, она охватила весь мир. Теперь уже государства, не входящие в ОЭСР, ведомые Китаем, Индией и Бразилией, задают тон, обеспечив 54% мировой возобновляемой электрической генерации в 2013 г.<sup>9</sup>

## Доступная альтернатива

Возобновляемые источники окончательно перешли из разряда дорогих игрушек любителей экологии в число высокотехнологичных, надежных и дешевых поставщиков энергии. Да, здесь нет опечатки, именно дешевых и доступных.

В январе 2015 г. Международное агентство по возобновляемой энергии (IRENA) опубликовало объемное исследование под названием «Стоимость генерации в возобновляемой энергетике в 2014 г.»<sup>10</sup>. Основной вывод данной работы: стоимость производства электричества на основе возобновляемых источников сравнялась со стоимостью традиционной генерации с использованием ископаемого топлива или даже упала ниже.

Стоимость производства электричества береговыми ветряными электростанциями, в геотермальной и гидроэнергетике, а также на основе биомассы равна или ниже, чем стоимость генерации на угольных, газовых и дизельных электростанциях даже без финансовой поддержки и при падающих ценах на нефть. «Во многих странах, включая Европу, энергия ветра является одним из самых конкурентоспособных источников новых энергетических мощностей... Отдельные проекты в ветроэнергетике

регулярно поставляют электроэнергию по \$0,05 за кВт·ч без финансовой поддержки, при этом для электростанций, работающих на ископаемом топливе, стоимостный интервал составляет \$0,045–0,14 за кВт·ч»<sup>11</sup>, — сообщает Агентство.

В солнечной энергетике «наиболее конкурентоспособные проекты промышленного масштаба поставляют электроэнергию по \$0,08/кВт·ч без финансовой поддержки, и более низкие цены возможны при снижении издержек финансирования. Их стоимостный интервал в Китае, Северной и Южной Америке сейчас лежит в пределах, характерных для генерации на основе ископаемого топлива»<sup>12</sup>.

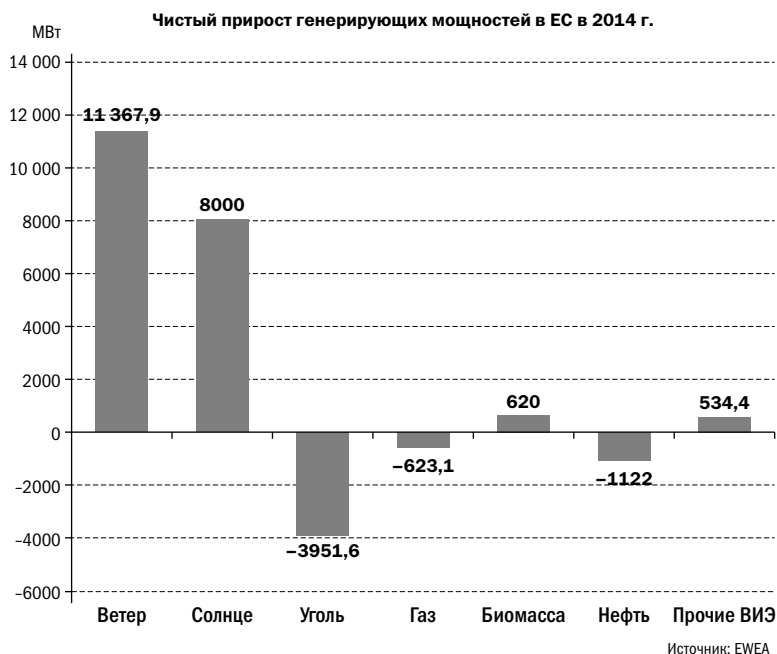
Примечательно, что еще в сентябре 2014 г. инвестиционный банк Lazard выпустил исследование «Анализ приведенной стоимости энергии»<sup>13</sup> (данные США), результаты которого в общем-то совпали с представленными данными Агентства. Оказалось, что самое дешевое производство электроэнергии на сегодняшний день предлагает ветроэнергетика (подчеркнем, без учета субсидий). Приведенная стоимость производства электричества (LCOE) составляет, по расчетам банка, в ветроэнергетике \$37–81/МВт·ч, в то время как для газовой генерации — \$61–87, угольной — \$66–151.

Еще раньше, в ноябре 2013 г., немецкий институт Fraunhofer ISE выпустил исследование «Стоимость производства электричества»<sup>14</sup>. Оказалось, что уже в 2013 г. интервал LCOE в солнечной и материковой ветроэнергетике примерно соответствовал показателям для генерации на газе и каменном угле, уступая лишь бурому углю, самому дешевому источнику энергии на то время.

## Энергетический поворот

Сегодня не существует ни одного исследователя, который бы сомневался в том, что капитальные затраты и стоимость производства электричества в возобновляемой энергетике (в первую очередь в ее солнечном сегменте) будут падать дальше, а сложность и стоимость добычи ископаемого топлива, напротив, возрастать. Таким образом, в ближайшие годы электричество, производимое с помощью ВИЭ, станет стабильно дешевле продукции углеводородной генерации.

Это означает одно: ископаемое топливо — уголь, газ, нефть — потеряет рынок в качестве источников электроэнергии. Новые электростанции, работающие на углеводородах, строиться не будут, а выбывающие мощности станут замещаться ВИЭ-электростанциями. Между прочим, в 2013 г. в Европейском союзе 72% вновь введенных генерирующих мощностей уже относились к возобновляемой энергетике, в то время как всего десятилетие назад на их долю приходилось лишь 20% прироста мощностей<sup>15</sup>. В 2014 г. доля ВИЭ в новых энергетических мощностях ЕС составила уже 79,1%, а если учитывать объем выведенных из эксплуатации электростанций на углеводородном топливе, то возобновляемая энергетика обеспечивает все 100% чистого прироста<sup>16</sup>. В США в 2014 г. на возобновляемый сегмент пришлось более половины новых мощностей в электроэнергетике<sup>17</sup>.



Столь решительный *энергетический поворот* (немецкий термин *Energiewende* — «энергетический поворот» — фактически

стал международным обозначением нынешних перемен на энергетическом рынке) происходит по следующим причинам:

1. Технологии «новых ВИЭ», в частности солнечной и ветроэнергетики, достигли такого уровня развития, что они стали конкурентами традиционных способов производства энергии на основе ископаемого топлива.
2. Ценовая нестабильность сырьевых рынков заставляет искать альтернативные возможности энергообеспечения.
3. Зависимость от стран — поставщиков энергоносителей толкает государства, не имеющие значительных ископаемых ресурсов, к политике импортозамещения и попыткам сократить эту зависимость.
4. Глобальное потепление климата, вызванное деятельностью человека, требует новых подходов к энергообеспечению, позволяющих сократить выбросы парниковых газов и тем самым снять или хотя бы уменьшить антропогенный фактор климатических изменений.

## Глобальное потепление

В России вопросы климатических перемен не стоят в основной повестке дня, мы редко слышим о них в новостях или читаем в газетах. Между тем именно данная тема является одним из главных столпов идеологии нынешнего энергетического поворота. В ее контексте развитие ВИЭ рассматривается в качестве средства, позволяющего уменьшить зависимость человечества от ископаемого топлива и, соответственно, сократить выбросы парниковых газов и, в идеале, переломить тенденцию глобального потепления.

То, что человечество сильно меняет окружающую среду, видно невооруженным взглядом, достаточно выглянуть из городского окна или полюбоваться дымом из труб ТЭЦ. Мы давно проверяем природу (и себя вместе с ней) на прочность. Окружающая среда нещадно эксплуатируется повсюду, от джунглей Амазонки до Восточной Сибири, от горных вершин до океанских глубин. Даже в Арктику настойчиво пытаются залезть нефтяники, все им мало. Факт климатических изменений также трудно оспаривать.

Разумеется, перемены происходят постепенно, мы привыкаем к резким перепадам погоды, и явления, показавшиеся бы нам аномалией еще 20 лет назад, сегодня могут восприниматься как «нормальные» капризы климата. Природа, впрочем, все чаще напоминает о себе новыми и новыми сюрпризами. Ночью на 1 февраля 2015 г. я проснулся от раскатов грома, а открыв глаза, увидел сполохи молний. Не могу сказать, что это явление показалось мне обычной московской зимней погодой.

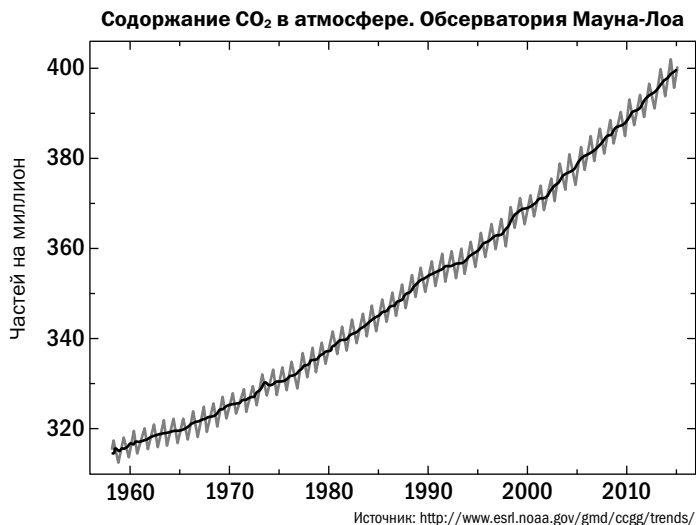
И все-таки, действительно ли деятельность человека является причиной нынешних странностей природы? Для ответа на данный вопрос в 1988 г. была создана Межправительственная группа экспертов по изменению климата (Intergovernmental Panel on Climate Change — IPCC), которая является сегодня главным экспертным центром в области климатических изменений. IPCC не проводит собственных исследований, ее специалисты изучают, обобщают, оценивают опубликованную научную информацию, формулируют на этой основе сценарии климатических изменений и публикуют содержащие выводы отчеты.

Нам может казаться, что глобальное потепление — спорный вопрос. Однако научное сообщество здесь практически единодушно. Большинство ученых согласно с тем, что климат меняется и эти угрожающие перемены — следствие деятельности человека. Анализ научных исследований, посвященных проблематике климатических изменений и опубликованных в период с 1991 по 2011 г., показывает, что 97% ученых признают антропогенную природу нынешнего глобального потепления<sup>18</sup>. Принятое в 2009 г. совместное заявление национальных академий наук «Большой восьмерки» (в том числе РАН)<sup>19</sup> указывало, что «климатические изменения происходят быстрее, чем предполагалось», и призывало международных лидеров принимать политические решения, способствующие снижению выбросов парниковых газов.

Пятый со времени основания организации отчет IPCC, выпущенный в 2014 г.<sup>20</sup>, содержит следующие основные выводы. Потепление атмосферы и океанической системы очевидно. Многие последствия этого, такие как изменение уровня моря, с 1950 г. проявляются беспрецедентно высокими темпами. Влияние человека на климатическую систему очевидно, а современные

антропогенные выбросы парниковых газов являются самыми значительными за всю историю. С начала индустриальной эпохи выбросы парниковых газов увеличивались преимущественно под влиянием роста мирового хозяйства и населения; сейчас они как никогда велики. Это привело к тому, что концентрации двуокиси углерода, метана и закиси азота в атмосфере достигли уровней, являющихся беспрецедентными по меньшей мере в последние 800 000 лет. Их воздействия, совместно с воздействиями других антропогенных факторов, обнаружены во всей климатической системе, и *крайне вероятно*, что они являются главной причиной потепления, наблюдаемого с середины XX века. Непрерывающиеся выбросы парниковых газов вызовут дальнейшее потепление и долгосрочные изменения во всех компонентах климатической системы, повышая вероятность опасных, всеобъемлющих и необратимых воздействий на людей и экосистемы. Для ограничения изменения климата требуется существенное и устойчивое сокращение выбросов парниковых газов, что, вместе с мерами по адаптации, способно ограничить риски, связанные с изменением климата. Имеются многочисленные пути смягчения воздействий на климатическую систему, которые могли бы ограничить потепление величиной 2 °C или менее по сравнению с доиндустриальными значениями. Эти способы требуют существенного сокращения выбросов в последующие несколько десятилетий и достижения близких к нулю выбросов двуокиси углерода и других долгоживущих парниковых газов к концу века. Чем дольше мы оттягиваем сокращение выбросов, тем дороже обойдется ликвидация последствий.

Повышение концентрации углекислого газа в атмосфере регистрируется лабораториями чуть ли не ежедневно. Если в 1960 г. она не превышала 320 частей на миллион (320 молекул CO<sub>2</sub> на миллион молекул воздуха), то в текущем, 2015 г. с большой долей вероятности устойчиво превысит 400 частей на миллион. Данный уровень впервые за историю человечества был достигнут в 2013 г., но держался несколько дней. В 2014 г. концентрация CO<sub>2</sub> была в среднем выше 400 в марте, апреле и июне. В 2015 г. ученые регулярно наблюдают повышенные уровни уже с января<sup>21</sup>. Столь высокая концентрация углекислого газа отмечалась на Земле миллионы лет назад.



Объем выбросов CO<sub>2</sub> в атмосферу увеличился по сравнению с 1973 г. более чем в два раза, а современный энергетический сектор ответственен примерно за две трети мировых выбросов парниковых газов, поскольку порядка 80% глобального потребления энергии обеспечивается ископаемым топливом<sup>22</sup>. Сохранение нынешней структуры производства и использования энергии с большой долей вероятности приведет к катастрофическим для человечества последствиям.

Основываясь на накопленных и современных научных исследованиях, моделях климатических изменений, IPCC<sup>23</sup>, а также другие межгосударственные организации, в частности Международное энергетическое агентство (International Energy Agency — IEA)<sup>24</sup>, публикуют возможные сценарии динамики выбросов парниковых газов и развития глобального потепления.

На международном уровне сформировался консенсус по поводу того, что с антропогенным влиянием на климат надо что-то делать. Данное согласие вылилось в Рамочную конвенцию ООН по изменению климата (Framework Convention on Climate Change — UN FCCC), подписанную в 1992 г. представителями более чем 180 стран, включая Россию. С тех пор проводятся регулярные встречи-конференции, на которых обсуждаются



и принимаются соответствующие протоколы и оформляются соглашения по совместному преодолению антропогенных факторов климатических изменений. В 2010 г. в Канкуне, Мексика, было подписано соглашение, в соответствии с которым глобальное потепление должно быть ограничено двумя градусами Цельсия сверх доиндустриального уровня. Такое повышение температуры примерно соответствует концентрации  $\text{CO}_2$  в атмосфере на уровне 450 частей на миллион («сценарий 450 ppm» в терминологии Международного энергетического агентства), в то время как для доиндустриального периода был характерен уровень примерно 280 частей.

С одной стороны, с экологической точки зрения данная граница представляется чересчур «завышенной», что вызывает протесты экологов и представителей стран, которые в наибольшей степени пострадают (и страдают уже) от климатических изменений, ведь некоторые заселенные территории буквально «уходят под воду». При этом следует учитывать, что даже такой «незначительный» рост концентрации  $\text{CO}_2$  крайне негативно скажется на экосистеме планеты в целом, а не только наиболее уязвимых регионов. Человеческая цивилизация формировалась и развивалась на Земле в условиях, когда уровень  $\text{CO}_2$  не превышал 300 частей. Многие ученые, эксперты в области исследований климата считают, что «крайним», безопасным для планеты уровнем является показатель 350 частей, а значит, страновые и межгосударственные цели развития должны ориентироваться на эту величину<sup>25</sup>.

С другой стороны, текущие динамика выбросов и тенденции развития общества, в том числе его энергетического сегмента, таковы, что цель 2 °C представляется слишком агрессивной и труднодостижимой — для этого придется кардинально перестроить энергетическую систему и фактически отказаться от использования угля, нефти и, в значительной степени, природного газа к 2050 г.

Если же все останется так, как сейчас (в терминологии Международного энергетического агентства: Current Policies Scenario — сценарий действующих норм), то потребление энергии увеличится к 2050 г. в два раза, а выбросы парниковых газов еще больше, в результате во второй половине столетия следует ожидать повышения

температуры на 6 °С, что приведет к катастрофическим последствиям и, вероятно, уничтожит нашу цивилизацию. Таким образом, «совершенно очевидно, что мы достигли внешних пределов, до которых может расти глобальная экономика, построенная на базе нефти и других видов ископаемого топлива»<sup>26</sup>.

В данном контексте развитие ВИЭ представляется критически важным для сохранения жизни на Земле, и возобновляемая энергетика уже готова предложить человечеству эффективные и конкурентоспособные по цене способы энергетического обеспечения. Накопленный опыт некоторых развитых индустриальных государств показывает, что *возобновляемые источники энергии являются средством, позволяющим разорвать зависимость между экономическим развитием и ростом выбросов парниковых газов*. Для роста экономики уже не нужно сжигать углеводороды (по крайней мере, в прежней пропорции). Стремительный рост возобновляемой энергетики в прошедшее десятилетие подает надежду, что мы сможем справиться с нависшей климатической угрозой.

## ВИЭ — «разрушители»

Разумеется, не все рады новому сильному участнику в игре, на кону которой триллионы долларов. Как подсчитала инвестиционно-консалтинговая фирма Kepler Cheuvreux, в случае реализации сценария 450 ppm, т. е. солидарного проведения на международном уровне политики ограничения глобального потепления 2 °С, мировая сырьевая индустрия за два следующих десятилетия недосчитается ни много ни мало \$28 трлн выручки, при этом большую часть, \$19,4 трлн, потеряет нефтяная отрасль<sup>27</sup>.

Уже сегодня многие традиционные энергетические компании чувствуют себя неуютно в компании с ВИЭ. Прочно вошедший в употребление термин «ВИЭ — разрушители» (disruptive renewables) возник не на пустом месте. «Как потерять полтриллиона евро» — под таким заголовком вышла статья в журнале *The Economist*, рассказывающая об обвале рыночной капитализации крупнейших европейских игроков энергетического рынка, потерявших более половины стоимости с 2008 г.<sup>28</sup> Некоторые из них, такие как немецкая E. On (сопоставимая по годовой выручке

с российским Газпромом), уже сдались, пытаясь реализовать свои «углеводородные» энергетические активы, и переориентироваться на возобновляемую энергетику.

Консалтинговая компания Accenture, просчитав различные сценарии развития энергетических рынков, пришла к заключению, что наиболее вероятным является такой вариант: потеря минимум \$18 млрд доходов в год энергетическими компаниями в США и \$48 млрд в Европе в ближайшие десять лет. А в ситуации «идеального шторма», в которой поддержка (субсидирование) ВИЭ сохранится в 2020-х гг., стоимость технологий продолжит падение, а конечные пользователи станут массово отдавать предпочтение распределенным альтернативным технологиям, потери энергетических компаний могут вырасти к 2025 г. до \$130 млрд в год<sup>29</sup>.

Соответственно, новые капиталоемкие проекты по освоению месторождений углеводородного сырья являются крайне рискованными, поскольку они уже ближайшие годы столкнутся с конкуренцией новых источников энергии. Традиционные энергетические компании в нынешней форме могут потерять половину своего рынка, которая перейдет к энергоэффективности, солнечной энергетике, системам хранения и другим видам распределенной генерации, предупреждает Citibank в исследовании под названием «Энергетический дарвинизм»<sup>30</sup>.

Не только крупные производители электричества, но и сырьевые концерны начинают осознавать риски, связанные с распространением ВИЭ. Некоторые пытаются «возводить стены», вкладываясь в критику «климатических мифов» и возобновляемой энергетики, выбивая дополнительные льготы из правительств на разработку новых месторождений, а некоторые, напротив, «строят ветряные мельницы», понимая необходимость адаптации к новому энергетическому порядку и диверсификации бизнеса.

Дети капризничают, если у них отбирают любимую игрушку, а реакция взрослых на попытку отнять кусочек их пирога может быть более жесткой, особенно когда пирог стоит триллионы долларов. Чего не сделаешь при таких ставках, ведь «нефть — это уже почти деньги», большие деньги, которые сменяют президентов и начинают войны с одной целью: обеспечить бесконечность

спирали «больше нефти — больше денег — больше власти — больше нефти».

Выстроить оборонительное укрепление или начать войну — обычные варианты агрессивных стратегий, призванных защитить доходы крупного бизнеса. Задушить потенциальных соперников в колыбели — известный с библейских времен способ обеспечить себе «стабильное» будущее. И наиболее пронизательные представители сырьевой власти пытались сделать это уже давно. Вспомните классическую американскую комедию, которая известна у нас под названием «Голый пистолет» (Naked Gun 2½). Вышедшая на экраны почти 25 лет назад, она повествует о том, как «плохие парни» — предприниматели и лоббисты сырьевого сектора — самыми грязными способами пытались помешать повороту политики в сторону чистой энергии.

Пока не получилось, возобновляемая энергетика выросла и окрепла, превратилась в мощную отрасль мировой экономики с миллионами занятых и сотнями миллиардов ежегодных инвестиций. Меры по ее поддержке декларированы более чем в 130 государствах. Поэтому вариант адаптации к неизбежным переменам все чаще появляется в повестке дня заседаний директоров сырьевых гигантов.

## Строим «ветряные мельницы»

Например, Американский нефтяной институт (American Petroleum Institute), крупнейшая в США ассоциация предприятий нефтегазового сектора, в 2015 г. посвятил возобновляемой энергетике почти половину своего отчета, в котором, в частности в главе с говорящим названием «Солнечная энергетика в Америке светит ярко», сказано: «Если посмотреть на энергетическое будущее Америки, солнечная энергетика может по-настоящему изменить правила игры, предоставляя все большему и большему числу домов, предприятий, школ и правительственных учреждений на всей территории Соединенных Штатов чистое, надежное и доступное электричество»<sup>31</sup>.

Понимание того, что нужно что-то делать с ВИЭ и что от них просто так не отмахнуться, уже пришло. Даже несмотря на то, что случавшиеся ранее попытки крупных сырьевиков входить

в сектор возобновляемой энергетики нередко быстро заканчивались. Так, BP свернула свой солнечный бизнес в 2011 г., Chevron продала прибыльный проект в области ВИЭ в 2014 г.<sup>32</sup> А вот хорошо известная нам французская Total осознала конечность нефти и поверила в бесконечный потенциал солнца. Компания достаточно успешно покупает активы в возобновляемой энергетике. Ей принадлежит 66%-ная доля в американской SunPower, которая выпускает самые эффективные в мире солнечные (фотоэлектрические) элементы и панели. Нефтяная компания также вкладывается в электростанции, которые строит SunPower в разных странах. Кроме того, показательна инвестиция Total в Amuris, ведущего разработчика и производителя биотоплива.

Участники китайского сырьевого рынка, на который во многом уповают российские экспортеры углеводородов, также ощущают ветер перемен. Глава нефтяного гиганта Sinorec недавно выступил с сенсационным заявлением: «В будущем углеводородное топливо перестанет быть ключевым бизнесом Sinorec. Нефть и газ останутся главными источниками энергии в будущем, но они не будут единственными источниками, больше внимания будет уделено нашей новой энергетике и возобновляемым источникам энергии»<sup>33</sup>.

Несырьевой бизнес поддерживает энергетический поворот, активно возводя «ветряные мельницы». IKEA планирует к 2020 г. на 100% обеспечивать себя исключительно чистой энергией. ВИЭ уже сегодня на 100% снабжают электричеством все дата-центры Apple, компания является крупнейшим владельцем солнечных электростанций. IBM собирается в 2020 г. покрывать 20% своих потребностей с помощью возобновляемых источников. Компания Google с 2007 г. оставляет на планете «нулевой углеродный след». Помимо 35%-ной доли ВИЭ в потребляемой энергии Google осуществляет мероприятия по компенсации выбросов CO<sub>2</sub>, главным образом инвестируя в предприятия по производству чистой энергии. Вложения и обязательства Google инвестировать в возобновляемую энергетику превысили \$2 млрд.

Солнечная, ветровая, геотермальная, гидро- и биоэнергетика в сочетании с развитием систем хранения энергии и электрического транспорта сегодня превратились в силу, которая

## Мировая энергетическая революция

подтачивает и разрушает сырьевую власть, но в то же время создает новое, чистое энергетическое будущее.

Разумеется, все новое содержит в себе элемент неопределенности. Радикальные перемены в энергетике — это вызов не только традиционным сырьевым и энергетическим компаниям, но и устойчивости, надежности страновых энергосистем. Нестабильный, погодозависимый характер ветровой и солнечной генерации ставит перед специалистами сложные задачи по интеграции «капризных» ВИЭ в электрические сети и по созданию принципиально новых сетевых решений. Посудите сами, в воскресенье, 11 мая 2014 г., 80% потребления электроэнергии в Германии было обеспечено солнцем и ветром, а 12 ноября того же года они покрыли лишь 10% потребности. Как быть и как жить с такой переменчивостью?

Но давайте вспомним, что человек летает в космос и умеет использовать ядерную энергию. По сравнению с этими достижениями «приручение» энергии ветра и солнца представляется не такой уж трудной задачей, и у меня нет сомнений, что она будет успешно решена. О возможных путях и предпринимаемых шагах я расскажу на страницах этой книги.

## СОЛНЕЧНАЯ ЭНЕРГЕТИКА

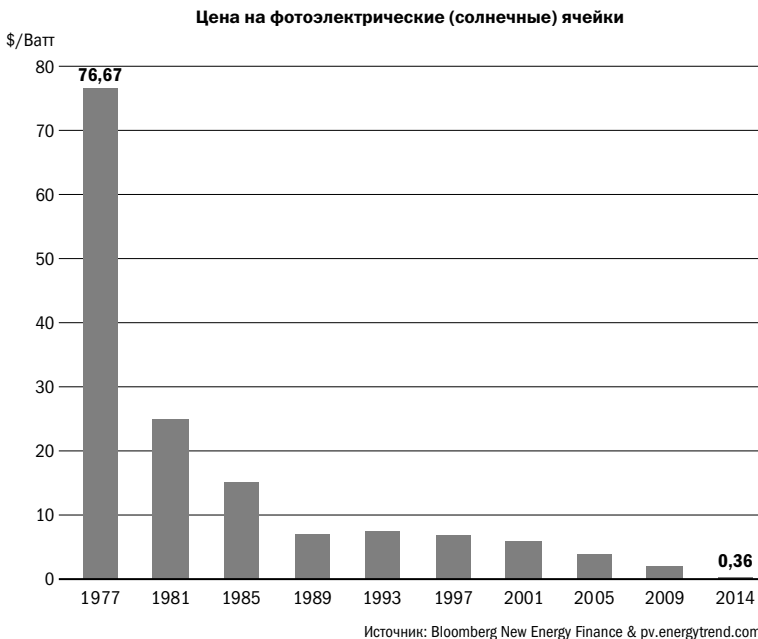
В октябре 1975 г. академик П.Л. Капица выступил с докладом «Энергия и физика» на научной сессии, посвященной 250-летию Академии наук СССР.

«Ни один из предложенных до сих пор методов преобразования солнечной энергии не может этого осуществить так, чтобы капитальные затраты могли оправдаться полученной энергией. Чтобы это было рентабельно, надо понизить затраты на несколько порядков, и пока даже не видно пути, как это можно осуществить»<sup>34</sup>, — отметил академик.

Спустя несколько десятилетий произошло ровно то, о чем размышлял Петр Леонидович, — капитальные затраты на солнечную генерацию снизились на несколько порядков. Это создало мощный стимул для развития возобновляемой энергетики, в результате чего образовался новый крупный сегмент энергетического рынка, претендующий на существенную часть мирового энергетического пирога.

Солнечная энергетика — самый быстрорастущий сегмент рынка возобновляемой энергетики, энергетического рынка вообще и фаворит автора этой книги. Я, разумеется, за сбалансированное разнообразие и за то, чтобы «расцвели сто цветов», тем не менее ничего не могу поделать с уверенностью, что солнце в скором времени станет основным используемым человеком энергетическим ресурсом.

В одиночку солнечная энергетика вряд ли сможет заменить уголь, нефть и газ. В то же время, в сочетании с другими ВИЭ,



она вполне способна в относительно недалеком будущем убрать с мировой арены углеводороды, играя в этой композиции первую скрипку.

За десятилетие с 2004 по 2013 г. установленная мощность солнечных (фотоэлектрических) электростанций выросла в мире в 53 раза<sup>35</sup>. В 2013 г. она составила 139 ГВт<sup>36</sup>, а в 2014 г., по предварительным данным, превысила 179 ГВт<sup>37</sup>. Пятерка стран-лидеров по масштабам солнечной энергетики сегодня выглядит так: Германия, Китай, Италия, Япония, США. В ряде государств солнечная энергетика уже занимает приличную долю в выработке энергии. В Италии она покрывает 7,8% годового потребления, Греции — 6%<sup>38</sup>, а в пасмурной Германии — 5,3%<sup>39</sup>. В мировом масштабе ее доля пока незначительна и не превышает 1% совокупной электрической генерации. Тем не менее налицо все предпосылки скорого изменения.

По одному из сценариев Международного энергетического агентства, ранее весьма консервативного в вопросах ВИЭ, солнечная энергетика к 2040 г. станет номером один — крупнейшим мировым производителем электроэнергии, а к 2050 г. ее





доля достигнет 27% мирового производства электричества<sup>40</sup>. Примечательно, что прежний прогноз Агентства, составленный в 2010 г., предусматривал существенно более скромные показатели роста, но случилось так, что «технологии усовершенствовались и затраты упали больше, чем ожидалось»<sup>41</sup>. В выдающихся перспективах солнечной энергетики не сомневается и лауреат Нобелевской премии, академик Жорес Иванович Алферов, который «абсолютно уверен, что солнечная энергия станет основным источником электроэнергии к концу нынешнего столетия»<sup>42</sup>. Даже нефтяной гигант Shell признает, что солнце станет главным источником первичной, не только электрической, энергии в мире и его доля в мировом энергетическом балансе будет превосходить доли углеводородов вместе взятые (по сценарию нефтяной компании это случится к 2100 г.)<sup>43</sup>.

Мы редко задумываемся, каким энергетическим потенциалом обладает солнце. Между тем годовая солнечная радиация по энергетическому содержанию многократно превосходит все мировые запасы ископаемого топлива (нефти, газа, угля, урана) вместе взятые. Только за один час на Землю поступает

столько солнечной энергии, сколько человечество использует за год во всех сферах.

Сегодня мы уже научились использовать этот потенциал с достаточно высокой эффективностью и умеренными затратами. Для этого применяются два основных типа генерирующих устройств, преобразующие солнечную энергию в электричество.

Первый, наиболее распространенный и доминирующий в мировой генерации, тип устройств использует фотоэлектрический эффект, он представлен широко известными солнечными модулями (панелями или батареями) — фотоэлектрическими преобразователями. Сфера деятельности, в которой применяется данный способ электрической генерации, обобщенно называется фотоэлектрикой или фотовольтаикой (англ. photovoltaic — PV).

В устройствах второго типа применяются зеркала или линзы, для того чтобы уловить солнечное излучение с больших площадей и сконцентрировать его на небольшой площади. При этом электрическая энергия производится, когда сконцентрированное солнечное излучение преобразуется в тепло, запускающее тепловой двигатель (паровую турбину), связанный с электрогенератором. Данная система носит название «концентрированная солнечная энергия» (англ. concentrated solar power — CSP), а производимая ею электроэнергия — «солнечным тепловым электричеством» (англ. solar thermal electricity — STE). Данные аббревиатуры зачастую используются как синонимы. В русском языке также используется термин «гелиотермальная электроэнергетика».

Существует также и «гибридная» система производства солнечного электричества, называемая «концентрированной фотоэлектрикой» (англ. concentrated photovoltaics — CPV). В ней также используются зеркала и линзы, но для фокусирования, концентрации солнечного излучения в высокомоощных фотоэлектрических элементах (англ. multi-junction solar cells).

## Фотоэффект

Фотоэлектрический эффект, или фотоэффект, благодаря которому световая энергия преобразуется в электрическую, был открыт еще в 1839 г. французским физиком Александром Беккерелем,

а в 1905 г. объяснен Альбертом Эйнштейном, который в 1921 г. получил Нобелевскую премию именно за теорию фотоэлектрического эффекта. В 1954 г. американские исследователи разработали солнечный элемент на основе кремния, позволяющий преобразовывать солнечный свет в электричество с 6%-ной эффективностью<sup>44</sup>. На основе данной разработки в 1955 г. была создана первая солнечная батарея. С конца 50-х гг. прошлого столетия солнечные батареи использовались в космической отрасли, пока наконец не стали доступными для применения и в других сферах.

В развитии технологий солнечной энергетики самое деятельное участие принимали и российские ученые, в частности упомянутый выше академик Алферов получил премию «Чистая энергия» за «фундаментальные исследования и значительный практический вклад в создание полупроводниковых преобразователей энергии, применяемых в солнечной и электроэнергетике».

Львиную долю мирового рынка фотоэлектрики, примерно 90%, занимают сегодня солнечные модули на основе кристаллического кремния. Около 10% приходится на тонкопленочные технологии разных видов, а на быстрорастущий сегмент концентрированной фотоэлектрики (CPV) пока менее 1%.

Интригой дальнейшего развития солнечной энергетики является эффективность солнечных (фотоэлектрических) модулей и динамика их стоимости, а также прогресс в производстве иных составляющих солнечных электростанций. В принципе, солнечная энергетика бурно растет уже и при нынешнем уровне производительности модулей, а дальнейший рост эффективности приведет к еще большему повышению ее конкурентоспособности на энергетическом рынке. При этом очевидно, что эффективности есть куда расти. Чуть ли не ежемесячно приходят новости об очередном технологическом прорыве в том или ином исследовательском центре, позволяющем добиться повышения эффективности разных типов модулей.

В настоящее время в лабораторных условиях установлены следующие рекорды эффективности солнечных ячеек: 25% — для монокристаллических (sc-Si), 20,4% — для поликристаллических (mc-Si). В сфере тонкопленочной технологии лучшие результаты составляют 19,8% для пленок на основе диселенида меди индия галлия (CIGS) и 21% для пленок на основе теллурида

кадмия (CdTe)<sup>45</sup>. Последний из указанных типов модулей имеет, по-видимому, все шансы потеснить кремниевые технологии в связи с ростом эффективности, сочетающимся с меньшей энергоемкостью и низкими удельными затратами на производство 1 Вт.

За последнее десятилетие средняя эффективность находящихся в продаже модулей на основе кристаллического кремния увеличилась с 12 до 16%, а лучшие коммерческие модели имеют эффективность 21%. У тонкопленочных модулей (CdTe) за то же десятилетие средняя эффективность выросла с 9 до 13%, а рекордный показатель составляет 17%<sup>46</sup>.

Между тем современные модели монокристаллических модулей уже сейчас показывают лабораторную эффективность, превышающую 23%, что обещает скорый рост эффективности модулей, предлагаемых на рынке<sup>47</sup>. Более того, продолжающие эксперименты с химической структурой модулей и использованием для их производства все новых материалов дают обнадеживающие результаты. Например, использование минерала перовскита при производстве кремниевых модулей, возможно, позволит еще больше увеличить их эффективность и снизить стоимость<sup>48</sup>.

В сфере концентрированной фотоэлектрики (CPV) эффективности существенно выше, но она работает только с прямой солнечной радиацией, что ограничивает географию ее использования богатыми солнцем регионами. Серийные показатели достигают здесь 35%<sup>49</sup>, а лабораторный мировой рекорд для многопереходных солнечных элементов (multi-junction solar cells) составляет 44,7%<sup>50</sup>.

Производство компонентов солнечных электростанций (помимо модулей) также совершенствуется с высокой скоростью. Снижение стоимости инверторов, основных элементов солнечных электростанций, практически повторяет кривую стоимости фотоэлектрических модулей. Расход материалов для производства инвертора за последние десять лет сократился с 12 до 2 кг на ватт<sup>51</sup>. И производители прогнозируют продолжение данного тренда.

Вообще вопрос используемых материалов в солнечной энергетике достаточно важен. Кремний, являющийся основой фотоэлектрики, — второй по распространенности на Земле элемент

после кислорода. Но даже его солнечная энергетика старается экономить. Расход кремния для производства панелей сократился за десять лет с 16 до 6 г на ватт, что, однако, сопровождалось вышеназванным ростом их эффективности<sup>52</sup>.

Помимо кремния, при производстве солнечных ячеек и модулей используется целый ряд материалов, в том числе редких и ценных. Одним из них является серебро. Примерно 20 г серебра используется в каждой панели из кристаллического кремния, а для одного гигаватта требуется уже 80 метрических тонн драгоценного металла<sup>53</sup>. Солнечная энергетика потребляет сегодня примерно 5,6% добываемого в мире серебра, и при заявляемых перспективах роста рынок может столкнуться с существенным повышением спроса на этот металл<sup>54</sup>.

В то же время достаточно высока вероятность технологических прорывов и в данном направлении, которые могут привести к сокращению удельного потребления серебра либо к полному отказу от него в пользу, например, меди.

## Экология солнечного электричества

Давайте посмотрим на экологическую сторону солнечной энергетики. Электричество, производимое с помощью солнца, не является «климатически нейтральным» или абсолютно экологически чистым. Более того, фотоэлектрика оставляет на Земле определенный «углеродный след». «Как же так? — спросите вы. — Опять обман с этой чистой энергией?»

Все познается в сравнении. Сама выработка электроэнергии с помощью фотоэлектрических модулей чистый процесс, но вот их производство — не вполне. Основные компоненты солнечных фотоэлектрических панелей изготавливаются из кристаллического кремния. Производство этих компонентов — энергоемкий процесс, в котором затрачивается до 60% общего количества энергии, используемой для изготовления солнечных батарей. Точный углеродный след какой-либо конкретной солнечной панели зависит от многих факторов, в том числе источника материалов, расстояния, на которое они должны транспортироваться, и источников энергии, которая используется заводами. Например, в Китае — ведущем производителе солнечных фотоэлектрических

панелей — производственный процесс в значительной степени зависит от угольных электростанций, что способствует повышению углеродного следа солнечных панелей, сделанных в Китае.

Тем не менее выбросы, связанные с фотоэлектрикой, в десятки раз меньше, чем у газовой и, тем более, угольной генерации, — всего от 15,8 до 38,1 г CO<sub>2</sub> на киловатт-час производимой энергии<sup>55</sup>. Для китайских модулей, правда, исследователи предлагают умножить данный показатель на коэффициент 1,3–2,1.

Кроме того, поскольку солнечная энергетика замещает традиционную генерацию на основе ископаемого топлива, можно подсчитать, к какому сокращению вредных выбросов это приводит. Установленные к концу 2013 г. солнечные электростанции производят примерно 160 ТВт·ч электроэнергии в год, что обеспечивает сокращение выбросов CO<sub>2</sub> на 140 млн т в год<sup>56</sup>.

Энергоемкость производства солнечных модулей позволяет скептикам высказывать сомнения в окупаемости оборудования с энергетической точки зрения. Мол, в производстве солнечной панели сжигается столько энергии, сколько данная панель никогда не выработает. Это ошибочная точка зрения, и срок энергетической окупаемости (energy payback time) солнечных модулей в сравнении с жизненным циклом модуля на сегодняшний день чрезвычайно мал. Он составляет 0,68–1,96 года в зависимости от условий производства и эксплуатации<sup>57</sup>, притом что современные производители обычно гарантируют 25-летнюю работу солнечных модулей с сохранением минимум 80% исходной мощности.

Производство фотоэлектрических панелей связано со сложными химическими процессами, в результате которых может происходить загрязнение окружающей среды не только посредством энергетических затрат и соответствующих выбросов в атмосферу, но и, так сказать, напрямую.

В принципе процесс производства фотоэлектрических модулей во многом схож с производством полупроводников, используемых в компьютерах и электронике. Да, здесь применяются разнообразные вредные вещества: хлористоводородная и серная кислота, азотная кислота, фторид водорода, ацетон и т. п. При производстве должны соблюдаться соответствующие требования по охране труда и окружающей среды.