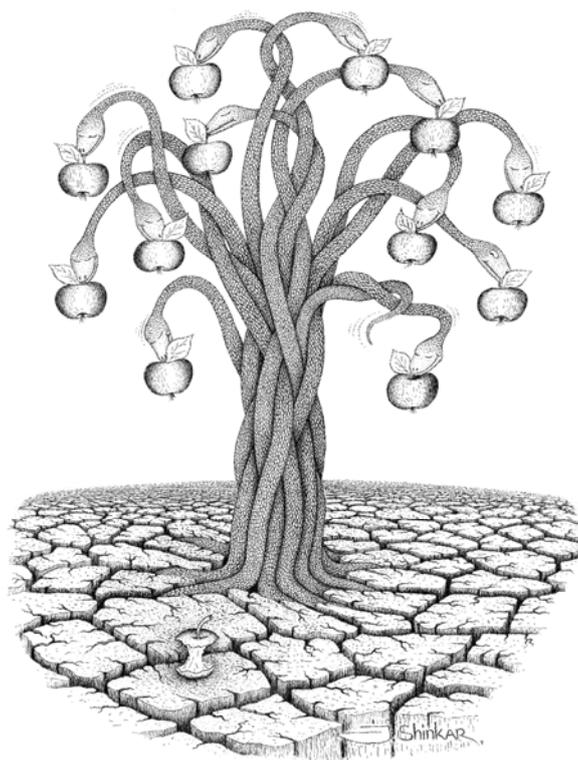
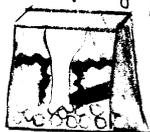


3.

Вокруг науки



Кожа — орган осязания!
Кожа это самый большой орган тела (главная его часть). Сухая кожа бы весила около 4 кг. Промышью микроскопа можно обнаружить, что кожа имеет потовые железы, крохотные волоски и миллионы других деталей.
кожа — внутри.



ИГЛОУКАЛЫВАНИЕ МИРА

С. П. Курдюмов
(Запись выступления)

Я начну с хаоса. Все мы — на бытовом уровне — привыкли думать, что хаос — это плохо: беспорядок, ничего хорошего не жди. А вот именно в последнее время наука о сложности дает нам совершенно другое представление. Хаос, оказывается, необходим! Вопрос — сколько его в системе, какова его доля. Потому что существует необходимая для эволюции системы мера хаотичности. Без хаоса у сложной системы не будет возможностей самоорганизации. Принципы нелинейной науки, синергетики, просчитанные сначала математиками и физиками и экстраполированные в другие области, в социологию, в психологию, в биологию, в медицину, позволили нам понять — без детерминированного хаоса нет никакого развития. В нем заложены возможности эволюции. И если кардиограмма показывает толчки сердца в узком диапазоне, ровный ритм без скачков, это — сигнал тревоги. С такой кардиограммой как раз через три дня умрешь.

Во всем сложном обязательно должна быть доля хаоса. То есть всегда имеет место диссипация, которая старается, как говорится, все «выест», погасить все движения. Но то, что снабжается извне, то, что связано нелинейностью, в этой ситуации выживает. Когда в нелинейной открытой системе в одну из гармоник, описывающих процесс, поступает энергия, нелинейность приводит к связи гармоник; значит, энергия распределяется по всему их спектру. И если диссипация на некоторых гармониках меньше, чем поступление за счет нелинейности, то только они и выживут с течением времени. И при длительном процессе из бесконечного ряда остаются, например, только три. Эти три гармонических колебания описывают аттрактор, траекторию пути системы. Возможны несколько аттракторов для разных путей системы. Но в процессе развития этот конус сворачивается. Происходит чудовищное свертывание сложности процесса при выходе на асимптотические аттракторы. Получается, что сложная система развивается к какой-то цели. Аттрактор притягивает! Как фатум в античности! В этом понимании заключается надежда смоделировать цель процесса в диссипативных открытых нелинейных системах. Производится Фурье-анализ, и мы смотрим за поведением гармоник, определяем путь, по которому идет процесс. Иногда трудно бывает выбрать базисные функции для разложения в ряды. Но все это уже техника. Главное, понять основную идею, причем вполне реальную. И что же получается? Вдумайтесь в парадоксы, которые интересно знать и гуманитариям.

Представьте себе, что диссипация, гибель, «выедание», отбор, хаос — необходимые элементы развития, которые и выводит систему на аттрактор. Доля зла, хаоса, выедания — необходимые элементы эволюции. Правда, неплохо бы сразу возбудить в системе тот спектр, который нам ближе по моральным, этическим и другим соображениям, без мучительно длинного пути, на котором гибнут миллионы. В этом и заключается идея Ефремова, ученого и писателя, — сократить зло в мире, если уж его нельзя убрать совсем. Сократить время лишних, тупых попыток, пустого эксперимента. Не использовать старый и никому не нужный метод проб и ошибок. Отсюда и гуманистический элемент, который следует из синергетики, из нелинейных уравнений. Вот вам и постановка задачи, способ моделирования. И она реальна, потому что этот спектр бесконечно прост. Путь на самом деле трудно увидеть, но спектр можно. Можно, в конце концов, увидеть границы пути.

Есть четыре новых замечательных метода решения нелинейных уравнений, разработанных нами. Над новыми методами решения работают сейчас во всем мире. Существуют теоремы операторного сравнения, которые приближенно указывают границы притяжения.

Если определены границы, то можно с уверенностью сказать, что система не развалится, а будет устойчиво стремиться к этому аттрактору. Неплохое утверждение для решения проблем устойчивого социального развития, для решения экологических проблем! Во-первых, будете знать, к чему идти. Не к тому, что хочется, или к тому, что кто-то хочет вам навязать, а к тому, что свойственно именно этой социальной, экономической, психологической среде. Все это относится к постановке задачи. Возникла идея, а дальше ищутся пути ее реализации.

Существуют примеры, что в простых системах не надо гнаться за очень сложным развитием. Очень ограниченный класс систем на асимптотической стадии вырождается, сами уравнения вырождаются. Они могут быть очень сложными, но на асимптоте — в бесконечности — значимы только отдельные главные члены, а все остальные затухают, становятся несущественными. Надо заметить, что эти аттракторы инвариантно-групповые. То есть, на этих аттракторах время и пространство не свободны, как и в специальной теории относительности, они заделаны в архитектуру структур, они связаны. В центре процессы происходят — как в прошлом, а на периферии они уже развиваются как в будущем времени. Будущее и прошлое не разделены в аттракторе при инвариантно-групповом решении. Такая общность времен имеет место только на асимптотической — близкой к бесконечности — стадии процесса. И в условиях термодинамики режимов с обострением (катастрофических процессов).

На всех остальных стадиях существует режим колебательный. Все сложные системы могут существовать только в условиях колебательного режима. Этот колебательный процесс, хотя и скрыт от исследователя, но, тем не менее, можно сосчитать его период, частоту колебаний в зависимости от нелинейности, а нелинейность говорит о свойствах самой среды. Если среда описывает спектр элементарных частиц, то эта задача Гейзенберга, это квантовая физика. А сама задача Гейзенберга — это частная задача синергетического подхода. В чем она заключается? Получить спектр элементарных частиц как способ самоорганизации этой среды! И нечего другого на ней устойчивого не будет. Другие возмущения развалятся.

Возьмем макроуровень! Тут можно много чего получить. Можно получить спектр вихрей, который тоже имеет определенный вид. Спектр эволюционирует к устойчивому метастабильному состоянию. Наконец, существуют социальные структуры, можно возбудить спектр социальных структур, но это будет уже другая нелинейность, другие источники и стоки, другая диффузия, при том же синергетическом подходе.

И на любой среде — тот же хаос на микроуровне, фактор, выводящий на аттрактор, и нелинейные прямые и обратные связи, которые при описании аттракторов вырождаются в простенький степенной вид. При правильном описании не путей развития, а границ развития и конечных целей, задача чудовищно упрощается. И это математически доказано для определенных классов уравнений. В конечном итоге удастся построить аттракторы, которые являются процессами, локализованными в пространстве. У этих процессов есть своя архитектура. Есть диффузия, которая должна все размывать, и есть нелинейные обратные связи, которые на определенном спектре длин приводят к локализации. Мы в Институте прикладной математики получали это на плазме. Кристалл теплоты, и он стоит, держится, не разваливается. Определенное время, конечно. Получен и спектр длин, и спектр определенных форм локализации для нелинейных уравнений. Его можно сопоставить со спектрами в квантовой механике. В квантовой механике используются уравнения несколько другого типа.

Вообще, прежде чем решать социальные задачи, нужно хотя бы поучиться на построении простых спектров, например, получить спектр атома или заряда. Здесь существуют определенные подходы, при которых используются квантовые свойства нелинейных процессов. Конечно, трудно переносить в макромир понятия микромира, понятия квантовой механики. Но и в нелинейных макропроцессах существуют аналоги квантовых свойств микромира. Нелинейность несет в себе дискретный набор форм, то есть в самой среде скрыт дис-

кретный набор идеальных форм Платона. Кстати, они являются правильными многоугольниками. Это является своеобразным чудом. Эти формы построены, и численно проверена их устойчивость.

Если в области притяжения аттрактора существует структура в виде звезды, например, и в эту структуру вводится определенное возмущение, то она восстановится, она регенерирует и будет звездой. Что-то подобное происходит и в биологическом мире. Психологи считают, что эффект самодостраивания, похожий на биологическую регенерацию, присущ человеческой интуиции. Вы сначала ухватываете часть проблемы, а потом ее достраиваете чисто интуитивно, а не логически, так как вы попали в область притяжения аттрактора. Интуиция — это подарок природы человеку. Распознавание образов тоже является простым примером достраивания определенных структур в сознании человека. И заметная доля синергетиков занимается теорией распознавания образов, которая является тоже моделью сложных психологических процессов.

Теория распознавания образов нужна для того, чтобы машина сама читала рукописный текст. У нас есть много замечательных ученых, которые ушли в коммерческие структуры, их там озолотили, а теперь они японцам продают патент, как компьютер может прочитать, перевести и передать рукописный текст. Это только частный случай, но на самом деле, если вдуматься, то это новые подходы к психологии, культурологии — самодостраивание определенных организаций. Поиск отдельных деталей мироустройства, но очень важных.

Синергетика шла с трех сторон, по крайней мере. И не только со стороны расчетов термоядерного синтеза, где требуются нелинейные системы, нелинейные диффузии, где накапливается этот опыт, но и со стороны биологов, со стороны работ Белоусова и Жаботинского. И первый увидел значимость их работы, реакции Белоусова–Жаботинского, Симон Эльевич Шноль, сражался за нее, а потом скромно отошел в сторону. Тут многие бывали на конференциях в Пущино, слушали Шноля. Он сыграл огромную роль, заставив тогда собрать конференцию и доложить эти идеи. Уже позже, после этой конференции, эти идеи были подхвачены и развиты Пригожиным. Еще раз повторяю — после наших российских ученых. Ведь все начиналось в России. А ведь Белоусова не печатали ни в одном журнале. Это тоже очень интересный элемент истории, историографии, понимания психологии творчества, некой драмы ученого, которого совершенно затыркали. Ведь он был крупным военным специалистом-химиком.

Я это очень хорошо помню. Я помню, как динамичный инициативный человек, Альберт Макарьевич Молчанов, притащил Келдышу пробирку, в которой шло изменение цвета. И по этой замкнутой пробирке, в которой имелась некая определенная смесь, определенная жидкость, ходила когерентная волна то синего, то желтого цвета. Это воспринималось как чудо! Представьте себе, что миллиарды атомов в большом масштабе одновременно меняют свое состояние. Конечно, когда Белоусов принес свою статью, ее не восприняли. На самом деле, в этой замкнутой пробирке есть определенный запас вещества, есть объемный источник, аналог нелинейных связей, и пока он не выгорит весь, он не выйдет на новую стадию. Примерно то же самое происходит при термоядерных реакциях на Солнце. Пока там есть такие источники, там образуются пятна, определенные структуры. Всё Солнце испещрено конвективными ячейками.

Турбулентность тоже является частным случаем самоорганизации, образованием определенных структур. Это же макрохаос. Если мы рассматриваем микропроцессы, то имеет место определенная среда вихрей, если переходить дальше, осреднять по ансамблю, то уже на макроуровне возникает вихревая гидродинамика с другой нелинейностью. Когда исследуется глобальная проблема вихрей и течений на земном шаре, на масштабах сотен и тысяч километров, то среду из мелких вихрей рассматривают как новую среду с новыми свойствами, кстати сказать, с отрицательной вязкостью. По этой проблеме написано много книг. И тогда на этой среде с отрицательной вязкостью получают и описываются совпадающие с экспериментом течения и вихри на следующем уровне. Среда с отрицательной вязкостью

порождает вихри на более высоком уровне. Эти же принципы распространяются на биологическую среду. Биологическая среда формируется из важнейших биологических молекул, и на ней уже должен быть свой, определенный спектр состояний, от простейших до многоклеточных. А как они возбуждаются, как идет морфогенез, — вот одна из задач, при решении которой и началась синергетика у нас в России.

И, конечно, огромный вклад в развитие синергетики внесла физика плазмы. Из нее вышел целый ряд задач, о которых я вам уже рассказывал, а также весь математический аппарат решения нелинейных уравнений. В этом принимали участие ученые Института прикладной математики имени Келдыша (смотрите работы на сайте www.spkurdyumov.narod.ru/) и ряда других научных Центров, Пущино, Саров, и другие, и вообще большое количество высококлассных молодых специалистов, настоящих энтузиастов. На Западе — это школы Германа Хакена (Германия) и Ильи Пригожина (Брюссель). Я думаю, что гуманитариям тоже полезно знать, как делаются великие дела науки, из которых вытекает надежда на будущее человечества.

И, наконец, нельзя забывать замечательные работы Тьюринга, которые послужили началом целого потока математических моделей. Кстати, ни Хакен и ни Пригожин не использовали совершенно дерзкую идею, что именно обычная система уравнений диффузии с нелинейным членом создает совершенно новый неизученный мир, который нельзя описать никаким линейным приближением. Даже если вы линеаризуете эту систему уравнений, разложите по малому параметру, то никогда не получите спектра решений нелинейной системы. В решении линейного аналога нет фундаментального решения, нет организации. Остаются только диффузионные волны, которые распространяются из области повышенной концентрации в область пониженной. А ведь, кроме волн, есть спектр структур, связанных с нелинейным членом. Тьюринг поставил задачу морфогенеза. Он попытался показать, как развиваются процессы в открытых сложных нелинейных системах.

Открытые системы — это такие системы, в которых есть источники и стоки вещества. Такой системой, например, можно считать и человека. Человек получает извне определенную информацию, вещество, определенную энергию, и выбрасывает отходы. Хочу еще раз подчеркнуть очень важную вещь — все сложные системы открыты. В простых закрытых системах работает Второе начало равновесной термодинамики, беспорядок необратимо нарастает. Все идет к максимуму энтропии, к максимуму хаоса, и к деградации любых организаций. К тепловой смерти Вселенной, о которой все наверняка слышали. Но ее не будет!

Куда идут процессы в открытой системе, раз все сложное открыто — человек, общество, вся наша Вселенная? Вот такой вопрос и поставил Тьюринг. Дальше он провел математический эксперимент, самый что на есть простой. Если в системе работает Второе начало, то оно должно все разровнять по пространству и никакой организации не будет. К тому же решение должно вообще выйти на стационар, и можно со спокойной душой выбросить член, связанный с изменением функции по времени. Значит, все превратится в полный хаос. Тогда все описывается простеньким алгебраическим уравнением. А дальше можно просто провести линейный анализ, как обычно делают физики: возьмем решение и немножко его возбудим, и посмотрим, как оно будет себя вести. Это, как правило, экспоненциальные решения вокруг некоего стационара. Малые возмущения могут возрастать или затухать. Если они возрастают, то это решение является неустойчивым, если затухает — то это тоже ничего не значит. По отношению к малым возмущениям — решение устойчиво, а по отношению к конечным в нелинейных системах оно может быть неустойчивым. Нелинейность иначе реагирует на малые возмущения. Они могут изменить эволюцию системы. Они могут стать решающими, если попадут на момент острой неравновесности, на точку бифуркации, после которой поведение системы резко меняется. Целый класс решений показывает, какие нужно задать величины бифуркаций, чтобы в системе образовывались структуры.

Вопрос о бифуркациях разбирали многие ученые, например, Комаровский. Ведь хаос проявляется не только в диффузионных членах, но и в бифуркациях, то есть в каких-то вы-

бросах, появляющихся с разной степенью вероятности. Если конечная бифуркация выше пороговой, то она приводит к рождению структур. Структуры могут возникнуть только в нелинейной задаче. Правда, есть случаи, когда даже в линейной задаче малые возмущения приводят к неустойчивости, если иметь дело с открытыми системами. А если решение неустойчиво, то спрашивается, куда идут процессы? Давайте возбудим еще раз систему, решим численно уравнения и убедимся, что они выходят на вот такие стационарные структуры. Теперь поменяем начальные данные, и, как ни странно, мы выйдем на ту же структуру. В этом и заключается идея об области притяжения в аттракторе. Внутри области притяжения можно задавать любые начальные данные, все равно система выйдет на одни и те же структуры. Будущее «времени» вас.

Это целая серия философских учений. Мы-то считаем, что причинность — это начальные данные, это выстрел из орудия, который определяет траекторию и силу. А в этих системах *будущее* определяет то, что останется, а все остальное будет выедено. Будущее отбирает из настоящего куски того, что будет устойчиво существовать. Вот тебе и представление о причинности. Это же предопределенность, но не однозначная! Внутри области этого аттрактора — одна предопределенность, внутри другого — другая. А если сильно изменить начальные условия? То в этом случае можно выйти на другую структуру. Численно можно нащупать, что от одних данных выходим на эти структуры, а от других — на иные. Другое количество максимумов, другая частота. А после этого ставится вопрос — сколько аттракторов в открытых системах? Как они построены, и какая у них характерная длина и форма? Идеи-то, на самом деле, простые, но, безусловно, это — морфогенез. Среда вначале была однородной (мы специально задали однородную, слабо возмущенную среду), а вышла — на сложную организацию, несмотря на действие диффузионных процессов. Влияние нелинейных факторов, прямых нелинейных и обратных связей (или источников) приводит к морфогенезу.

Вся сложность наблюдаемой Вселенной определяется весьма узким диапазоном сечений первичных элементарных процессов и значениями фундаментальных констант. Если предположить, что сечения элементарных процессов в эпоху Большого взрыва были бы чуть-чуть выше, то вся наша Вселенная «выгорела» бы за очень короткий промежуток времени. В этом и заключается сущность антропного принципа — существование сложного именно в нашем мире. Чтобы на макроуровне сегодня было возможно существование сложных систем, элементарные процессы на микроуровне изначально должны были протекать очень избирательно. Даже незначительные колебания мировых констант привели бы к тому, что наш устойчивый привычный мир не смог бы существовать и мы с вами сейчас не сидели бы в этом зале. Может, сидел бы кто-то другой. Скорее — никто бы нигде не сидел, вот антропный принцип.

Во всех наших и зарубежных исследованиях идет попытка выбора моделей, способных описывать сложный спектр аттракторов структур и законы коэволюции систем, находящихся на разных ступенях развития. Например, законы коэволюции человечества и природы, цивилизаций, находящихся на разных стадиях своего развития. Во всем мире сейчас ищут связи между различными цивилизациями, сильно и слабо развитыми. И есть закон запрета связей этих цивилизаций. Это такой же закон, как и закон сохранения энергии. Но только он относится к законам коэволюции. Можно взаимодействовать не с кем угодно, и не как угодно. Степень связи тоже может быть только весьма определенной, а не какой угодно. Законы сложных систем, конечно, открыты только недавно. Насколько широко они могут быть применены в социальных сферах, до конца не ясно. Но очень важно, что никакой другой модели мира, допускающей сверхсложный спектр аттракторов, эволюции Мира, пока не существует. Появится такая модель — тогда другой разговор, будут ее проверять. Но пока других подходов нет.

Я еще раз повторяю. Появился новый нелинейный математический аппарат, во-первых, в виде расчетных, численных моделей. Вы можете вообще не иметь аналитику, а расчет

провести. А это очень важно. Причем эти расчеты можно производить для сколь угодно сложных систем. Компьютеры это позволяют делать. Ведь мощность компьютеров чудовищно возросла. Так что считай, сколько угодно.

Во-вторых, весь пафос моего доклада направлен на то, что простые модельные нелинейные уравнения, содержащие два фактора, — фактор хаоса на микроуровне (диффузионный фактор) и нелинейные положительные и отрицательные обратные связи (или источники и стоки), зависящие от искомой функции, содержат сколь угодно сложный спектр аттракторов. Есть формулы, которые показывают, сколько типов аттракторов содержится в этой системе. В самом сложном аттракторе содержится хоть десять в пятидесятой степени простых. И если мы имеем сложные системы, то мы их можем классифицировать или по функциям, или по количеству частиц, которые они объединяют. Например, атом объединяет определенное количество электронов, сто типов ядер, человек объединяет десять в четырнадцатой степени частиц. Если объединять по геометрическим размерам, то диапазон, который охватывают нелинейные связи, простирается от нескольких микрон до нескольких метров.

Мало того, показываются внутренние тенденции развития и законы их коэволюции, то есть, как соединить аттракторы, находящиеся на разных стадиях развития. Например, как соединить регионы, развивающиеся по-разному. Ведь есть отсталые регионы, а есть бурно развивающиеся. При какой форме связи они могут образовать целое? Оказывается, что не каждый регион может быть объединен с другим. Есть запреты на объединение. Насколько они экономически применимы, можно рассчитать. Во всяком случае, появилась надежда, которую можно, по крайней мере, апробировать для различных ситуаций, указать границы применения закона, ну, как обычно, при любом математическом моделировании. Раньше не было надежды на возможность описания сложных систем. Непонятно было, как к ним подойти, какую использовать модель. Модель не вообще чего-то, а модель конечного состояния. Это состояние бесконечно простое по сравнению с путями, которые приводят к нему. Поэтому удалось здесь так далеко продвинуться, узнать границы аттракторов.

Новых и интересных работ по моделированию уже много. В них предложены уникальные методы решения и, что самое важное, конкретные результаты по моделированию структур, по Т-слою, по магнитному генератору. Уже в определенной мере могут быть объяснены хромосферные вспышки на Солнце. Есть, конечно, теория Сыроватского по объяснению всевозможных тонких «штучек» на Солнце — пятен, крыльев, но других пока нет. Я мог бы привести и более убедительные примеры, если бы подробно остановился на новом математическом аппарате. Но в задачу моего доклада входило как можно проще и доступнее объяснить основные идеи именно гуманитариям, не жалуящим современную математику. И потом, мне было важно указать на некие философские проблемы, вытекающие из нелинейности, остановиться на новом взгляде на мир, на развитие общества, на возможностях управления сложными системами.

На самом деле, способ управления сложными системами вовсе не энергетический. Важна не величина энергии, а характер ее распределения в пространстве. Управление сложными системами схоже с иглоукалыванием. Воздействие ничтожно, а результат чудовищный. Можно объяснить и причины, почему слабое, но топологически правильно распределенное воздействие приводит к разным типам аттракторов. Синергетика исследует конкретные механизмы и конкретную архитектуру организации. Синергетикам интересно посмотреть, как система выходит на аттрактор, как воздействовать на среду, каким образом возбудить именно эту структуру, как определить степень связи элементов в этой структуре, на какой стадии развития находятся элементы структуры, как они построены в пространстве.

Я еще не сказал вам про то, что структура организации глубоко основана на идее локализации, на режимах с обострением, то есть на режимах гиперболического роста. В режиме с обострением характерные величины системы многократно, вплоть до бесконечности, воз-

растают за конечный промежуток времени. А ведь нелинейные системы достаточно быстро приводят именно к этому режиму, к степенным закономерностям, к катастрофическому развалу системы, если воздействовать на нее грубой силой. А за этим стоит другой мир, другой тип аттрактора, странного аттрактора. Возникает не Ляпуновская неустойчивость, а асимптотическая неустойчивость вблизи режима с обострением. Эта целый каскад, десятки совершенно новых представлений о структурах, о сложности. Синергетика дает возможность упрощенного математического анализа, моделирования систем со сложным поведением. Это настоящий перелом в мышлении, новое в мировоззрении.

Синергетика перестраивает наше обыденное сознание. Она позволяет взглянуть на мир другими глазами. Она открывает новые необычные стороны мира: его нестабильность и режимы с обострением, нелинейность и открытость, топологическое правильное слабое воздействие и коэволюцию сложных систем. А все новое нужно пропагандировать. Во времени Эйнштейна дамы в кринолинах изучали теорию относительности. Во всех гостиницах бурно обсуждались проблемы парадокса времени. Взгляды Эйнштейна вызывали огромный общественный интерес. Почему же в наше время широко не обсуждать современные проблемы устойчивого развития?

В заключение я хочу еще раз подчеркнуть вот что. Не нужно ждать с поникшей головой новых глобальных катастроф, а нужно попробовать смоделировать другой путь развития мира.

Спасибо за внимание.