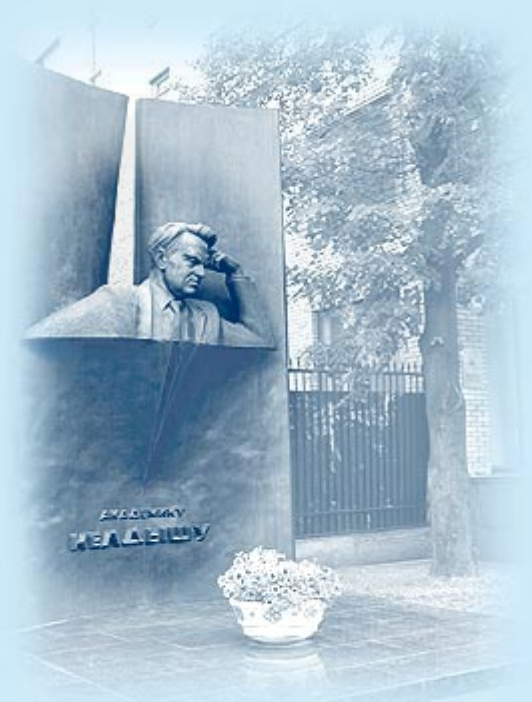




ИПМ им.М.В.Келдыша РАН • Электронная библиотека

Препринты ИПМ • Препринт № 52 за 2007 г.



ISSN 2071-2898 (Print)
ISSN 2071-2901 (Online)

С. А. Махов, С.А. Посашков

**Анализ стратегических
рисков на основе
математического
моделирования**

Статья доступна по лицензии
[Creative Commons Attribution 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)



Рекомендуемая форма библиографической ссылки: Махов С. А., Посашков С.А. Анализ стратегических рисков на основе математического моделирования // Препринты ИПМ им. М.В.Келдыша. 2007. № 52. 29 с.

<https://library.keldysh.ru/preprint.asp?id=2007-52>

Предуведомление

Настоящая работа представляет собой краткий литературный обзор по основным группам стратегических рисков, подготовленный в рамках проекта МЧС "Создание прототипа системы научного мониторинга".

Стратегичность рисков определяется, во-первых, масштабом последствий (глобальный, региональный), а во-вторых, промежутком времени, на котором риски необходимо учитывать (ближайшие 50-100 лет). Порядок изложения, принятый в работе, определяется характерными последствиями в каждой группе рисков: материал излагается по убыванию катастрофичности – от более катастрофичных к менее катастрофичным последствиям.

1. Космические риски.

Под этим понимаются опасности столкновения Земли с другими космическими телами: *метеороидами, астероидами, кометами*. Данные тела различаются своими размерами, составом, физическими свойствами и скоростями.

Метеороиды – каменные и железные тела, представляют собой осколки более крупных тел – комет и астероидов. Размерами достигают нескольких десятков метров в диаметре. При столкновении с Землей высвобождается энергия, происходит взрыв, на месте столкновения образуется воронка, превышающая своими размерами диаметр метеороида в несколько раз. Последствия такого столкновения напоминают взрыв большой авиационной бомбы. Метеороиды довольно часто падают на Землю в виде метеоритов: считается, что в течение года на Землю выпадает около 2000 метеоритов.

Астероиды – небольшие планетоподобные тела Солнечной системы (малые планеты). Самый большой из них Церера, имеющий размеры 970х930 км. Астероиды по размерам сильно различаются, самые маленькие из них не отличаются от частиц пыли. Полагают, что насчитывается до полумиллиона астероидов с диаметром более полутора километров. Большинство орбит астероидов сконцентрировано в поясе астероидов между орбитами Марса и Юпитера. Имеются, однако, и астероиды, орбиты которых лежат ближе к Солнцу. Падения крупных осколков астероидов на Землю завершаются образованием кратеров на ее поверхности, называемых астроблемами. В прошлом Земля не раз сталкивалась с астероидами. Самые ранние из известных астроблем имеют возраст 2 млрд. лет, наиболее известная – в районе полуострова Юкатан: 65 млн. лет назад здесь упал астероид диаметром около 10 км; по одной из гипотез именно это столкновение послужило причиной вымирания динозавров. На территории России крупнейшая астроблема обнаружена недалеко от устья реки Попигай на севере Сибири, возникла при падении астероида диаметром несколько километров 30 млн. лет назад. Считается, что в Солнечной системе около 1 млн. астероидов. Обнаружено около 70% околоземных астероидов диаметром более 1 км. Все обнаруженные к настоящему моменту астероиды

имеют оценку 0 по Туринской шкале астероидной опасности (вероятность столкновения равна нулю или ниже вероятности столкновения Земли с неизвестным небесным телом того же размера в течение нескольких десятилетий).

Кометы – космические тела, состоящие из твердого ядра, газообразной головы и хвоста. Ядро достигает десятков километров в диаметре (комета Галлея – 14х7 км), голова – до нескольких сотен тысяч километров в поперечнике, хвост может достигать длины нескольких сотен миллионов километров. Масса комет колеблется от 10 до 100 трлн. тонн, скорость кометы может достигать 100 км/с. Доподлинно неизвестно, были ли в прошлом столкновения комет с Землей (ряд исследователей считают тунгусский метеорит примером такого столкновения). Однако точно известно, что в 1994 г. произошла бомбардировка Юпитера 20-ю осколками короткопериодной кометы Шумахера-Леви 9, при этом диаметр осколков составил от одного до нескольких километров. Хотя считается, что подобное событие является экстраординарным по своей редкости, нельзя исключить возможность столкновения кометы с Землей в будущем. В случае столкновения достаточно большой кометы с Землей может произойти глобальная катастрофа. Считается, что в Солнечной системе около 100 миллиардов комет. Не все из них еще обнаружены и идентифицированы. Наиболее опасными для Земли являются случайные кометы реликтового происхождения, а также прилетающие в Солнечную систему извне.

Столкновения с космическими объектами могут повлечь за собой катастрофы разных масштабов: локальные, региональные и глобальные.

Локальные катастрофы возникают при столкновении с космическим объектом размером до 100 м, такое столкновение может привести к гибели десятков миллионов человек и нанести материальный ущерб, сопоставимый с валовым национальным продуктом наиболее развитых стран.

К еще большим жертвам и разрушениям могут привести региональные катастрофы. Так, падение тела размером 300-500 м в океан вызовет волну цунами, способную опустошить обширные прибрежные территории.

Для глобальной катастрофы достаточно метеорита размером 1 км в поперечнике. Удар такого астероида о поверхность Земли уничтожит все в радиусе до 1000 км от места падения, пожары охватят обширные территории, в атмосферу будет выброшено огромное количество пепла и пыли, которые будут затем оседать в течение нескольких лет. Солнечные лучи не смогут пробиться к поверхности планеты, и резкое похолодание погубит многие виды растений и животных, прекратится фотосинтез. Также нарушится магнитное поле Земли, изменится динамика тектонических процессов, возрастет активность вулканов.

Организация мер по предотвращению угрозы столкновения с космическими телами включает 2 этапа: 1) **мониторинг объектов**, 2) **нейтрализация опасных объектов** с помощью целой системы.

Мониторинг включает в себя:

- обнаружение и идентификацию космических объектов;
- расчет параметров орбит объектов и определение степени угрозы.

В настоящее время проводится наблюдение приближающихся к орбите Земли метеоритов, астероидов и комет оптическими средствами с Земли. На такое наблюдение нацелен ряд американских и международных программ: программы Spaceguard, PCAS (специально для наблюдения астероидов, сближающихся с Землей), а также ряд других американских программ, англо-австралийская AANEAS и франко-германская ODAS программы. Эти программы ставят своей задачей обнаружить к 2010 году 95% опасных астероидов диаметром более километра и часть более мелких [1]. На сегодняшний день определено более ста потенциально опасных (т.е. пересекающих орбиту Земли) астероидов диаметром более 1 км (более мелкие объекты сложнее обнаружить), предполагается, что их общее количество может достигать полутора-двух тысяч. Для более точного определения астероидов необходима система наблюдения космического базирования [2, 3]. Существует ряд проектов подобной системы, разработанных в России (НПО им. С.А. Лавочкина, ЦНИИМАШ, НПО "Астрофизика").

В настоящее время рассматриваются три основных способа **нейтрализации** опасных космических объектов. Это *отклонение* угрожающего объекта с орбиты встречи с Землёй, *экранирование* Земли от столкновения с угрожающим объектом, и, наконец, *уничтожение* угрожающего объекта. Уже разработаны проекты защиты от кометно-астероидной опасности, реализующие тот или иной способ.

I. *Отклонение объекта с орбиты Земли.* Здесь существует 3 способа.

1. Отклонение посредством ударного воздействия на небольшие тела с помощью специального космического аппарата. Проект предназначен для объектов диаметром до 100 м, движущихся в плоскости орбиты Земли. Для более крупных объектов применять этот способ вряд ли целесообразно ввиду неприемлемо большой массы космического аппарата (свыше 100 тонн).

2. Отклонение малого (несколько десятков метров) астероида – метеороида – с помощью специального буксировщика. Помимо выполнения данной работы такой аппарат может заниматься транспортировкой небольших тел с целью их использования в качестве сырья. Против непосредственно угрожающего астероида, обнаруженного на траектории Земли за несколько десятков суток до столкновения, такой буксировщик, видимо, бесполезен.

3. Отклонение путем направленного ядерного взрыва. С помощью космического аппарата-диверсанта на астероид доставляется специальный ядерный заряд, после чего осуществляется подрыв. Наиболее перспективно для объектов диаметром свыше километра. При этом заряд не обязательно доставлять непосредственно на поверхность астероида – мощный взрыв даже рядом с таким небесным телом приведёт к сильному локальному нагреву его поверхности, испарению, дроблению и выбросу приповерхностного вещества, в результате которого объект получит приращение скорости в направлении противоположной стороны.

II. *Экранирование планеты от столкновения.* С помощью мощного буксировщика с ядерно-термическим ракетным двигателем, кинетического удара

или ядерного взрыва на пути угрожающего объекта ставится помеха – астероид меньших размеров. Тогда траектория первого тела изменится вследствие полученного при столкновении импульса. Этот метод, получивший название "космического бильярда", оправдывает себя для противодействия угрожающим объектам размером в несколько сотен метров. Такую операцию должны предварять подробнейшие баллистические вычисления, причём необходимо иметь возможность их проведения в кратчайшие сроки.

III. *Уничтожение опасных космических объектов* или, по крайней мере, их размельчение на фрагменты, последствия столкновения с которыми будут менее катастрофичными, с помощью системы перехвата. Существует два вида воздействия – кинетическое и ядерное.

1. Метод кинетического удара. На пути движения астероида создается искусственное пылевое образование из малых частиц, которые будут взаимодействовать с его поверхностью, образуя кратеры с выбросом некоторой массы, пропорциональной кинетической энергии соударяющихся тел, таким образом, опасный объект будет разрушаться. Использование известных теоретических моделей сильного взрыва позволяет выбрать две модели нейтрализации: полное уничтожение тела вплоть до его испарения или разделение на мелкие фрагменты, не представляющие опасности. Расчеты показывают, что для полного распыления соотношение между массой частиц облака и массой тела при скорости 40-60 км/с должно быть 10^{-4} - 10^{-5} , т.е. для ликвидации железного астероида диаметром 10 м необходимая масса частиц облака должна составить порядка 10 тонн.

Кинетический способ воздействия был экспериментально опробован. В июле 2005 г. комета Темпел-1 была успешно атакована космическим зондом NASA (проект Deep Impact, проводившийся с целью исследования самой кометы и кинетического воздействия на нее) [4].

2. Метод ядерного взрыва. Расчёты показывают, что поверхностным ядерным взрывом мощностью 1 Мт возможно уничтожить астероид диаметром в 500 м, применение заглубленного взрыва той же мощности увеличивает диаметр астероида до одного километра. Если задаться требованием, что масса перехватчика по соображениям удобства поддержания в оперативной готовности не должна превышать 20 тонн, то мощность взрывного устройства будет ограничена величиной 100 Мт, а максимальный диаметр перехватываемого объекта будет находиться в пределах 3-5 километров. Однако осуществление подобного взрыва в объекте, движущемся со скоростью 40-60 км/с, – весьма сложная техническая задача.

Кроме того, нужно считаться с тем, что испытания мощных ядерных зарядов на Земле и вывод их в космическое пространство запрещены международными соглашениями. Поэтому могут возникнуть политические риски: сама система, которая в состоянии осуществить свод астероида с опасной орбиты, теоретически может быть использована и для противоположной по своей сути цели, а именно преднамеренного обрушения его на территорию "потенциального противника". Кроме того, существующее международное право не допускает

никаких действий космического аппарата, которые могут "причинить ущерб" третьим странам. То есть падение обломков разрушенного астероида на чью-либо территорию, даже в случае предотвращения глобальной катастрофы, будет рассматриваться как повод для предъявления претензий к стране, запустившей перехватчик. Наконец, может возникнуть соблазн утаивания информации об астероидах с целью монополизации возможности распоряжаться их ресурсами.

IV. Поскольку единого универсального метода предупреждения столкновения Земли с космическими объектами не существует, можно сделать вывод о том, что глобальная система космической защиты должна быть *эшелонированной*. Существует несколько схем такой системы [3].

1. Проект НПО им. С.А. Лавочкина. В нём основными структурными подразделениями системы защиты Земли являются наземно-космическая служба обнаружения, космическая служба перехвата и наземный комплекс управления. Сама система имеет два эшелона – дальнего перехвата и ближнего, или оперативного, перехвата. Эшелон дальнего перехвата предназначен для противодействия крупным ранее обнаруженным объектам (размерами свыше 1 километра), столкновение которых с Землёй может быть предсказано за месяцы и годы. Поскольку перехват таких тел должен осуществляться на значительном расстоянии, а схема перелёта к объекту в большинстве случаев сходна со схемой перелёта к другим планетам, то аппарат-перехватчик целесообразно создавать на базе уже созданных межпланетных космических станций, с использованием отработанных на них технических решений. Эшелон ближнего перехвата предназначен для борьбы с угрожающими планете объектами в околоземном пространстве. Согласно проекту, на Земле на боевом дежурстве постоянно должны находиться ракеты-носители с навигационными аппаратами, предназначенными для высокоточного определения параметров орбиты и физических характеристик космического тела, и аппаратами-перехватчиками. Аппарат-навигатор стартует с некоторым опережением относительно перехватчика и, проходя вблизи цели, передаёт полученные данные на наземный комплекс управления, где на их основе уточняется схема перехвата, а затем передаются соответствующие команды на борт перехватчика. В качестве носителя предлагается использовать российскую конверсионную ракету "Рокот", созданную на базе МБР СС-18.

2. Проект, предложенный Челябинским научным центром. В нём, для действий в эшелоне дальнего перехвата используются космические аппараты, несущие на борту ядерные заряды мощностью 10-20 Мт и выводимые в космос ракетой-носителем "Энергия". Комплекс, обеспечивающий ближний перехват, предназначен для уничтожения объектов размером 50-150 метров методом кинетического удара. Поскольку в этом варианте масса ударников и проникателей составляет 10-20 тонн, их вывод на орбиту может быть осуществлён ракетами-носителями типа "Протон" или "Ангара-5".

Резюме. Астероидно-кометная опасность – вполне реальна, однако пока трудно сказать, насколько высоки риски, поскольку вероятность столкновения с космическими телами больших размеров не очень велика. Создание системы космической защиты – дело международное, требующее усилий по преодолению трудностей технического и политического характера. Тем не менее, эффективная защита Земли вполне возможна, и в этом направлении уже сделан ряд практических шагов.

Литература

1. Микиша А.М., Смирнов М.А. Земные катастрофы, вызванные падением небесных тел // Вестник РАН. – М.: Наука, 1999, т.69, №4, с.327.
2. Энеев Т.М. К вопросу об астероидной опасности // Компьютерные инструменты в образовании. – М., 2003, №2, с. 13-19.
3. Соболев И. Отступить некуда, позади – Земля! // Техника – молодёжи. – М., 2002, №1, с.18-20. <http://sw72.narod.ru/space/asteroid.htm>
4. <http://www.astrogalaxy.ru/>

2. Климатические риски

Под этим понимаются риски, связанные с климатическими изменениями. Это, прежде всего, экстремальные явления природы (климатические и погодные аномалии), а также риски, связанные с изменением среднегодовой глобальной температуры – проблема глобального потепления (ввиду важности будет рассмотрена особо).

Основные экстремальные природные явления таковы.

1. Атмосферные явления – смерчи, ураганы, тайфуны.
2. Гидросферные явления – наводнения, цунами, снежные лавины.
3. Явления на суше – засухи, лесные пожары, извержения вулканов, холода.

Все данные явления природы катастрофически влияют на жизнь человеческого общества, поскольку при этом:

- 1) гибнут люди;
- 2) разрушается инфраструктура (дома, больницы, вообще основные фонды), что приводит к нехватке пресной воды, медикаментов, жилья;
- 3) наносится ущерб сельскому хозяйству, что может привести к нехватке продовольствия и угрожает голодом;
- 4) уничтожаются биоресурсы, ухудшается экологическая обстановка и среда обитания.

Природным катастрофическим явлениям посвящена обширная научная литература [1, 2].

Теперь перейдем к проблеме климатических изменений. Рассмотрим имеющиеся методы анализа и прогноза динамики климата. Существует два основных подхода к исследованию климата Земли.

Первый подход – эмпирико-статистический, на основании данных о прошлых климатических изменениях позволяет воссоздать историю климата планеты. Основные методы, используемые при этом таковы [3, 4]:

а) геологические методы стратиграфии (радиоуглеродный анализ окаменелостей, горных пород, ледников, органических остатков), палеотемпературные методы;

б) исторические свидетельства (записи, хроники, археологические находки);

в) прямые инструментальные наблюдения.

Исторические данные позволяют сказать следующее. Изменения климата в прошлом происходили довольно часто и значительно, причем климатические экстремумы носили ярко выраженный региональный характер [4].

Второй подход – теоретический, связан с созданием математических моделей климата. Принято выделять три основные группы естественных климатообразующих факторов, в соответствии с которыми можно структурировать типы имеющихся моделей [4, 5].

Астрономические факторы, обусловленные влиянием на Землю со стороны других тел Солнечной системы – светимость Солнца, солнечная активность, гравитационные воздействия, наклон оси вращения Земли к плоскости орбиты. Поскольку астрономические факторы – основополагающие среди механизмов, ответственных за формирование климата, то они в той или иной степени учитываются во всех моделях климата (по крайней мере, в подавляющем большинстве моделей). Однако можно выделить специальные модели, непосредственно учитывающие астрономические факторы.

Солнечная активность – накоплен эмпирический материал, разработанной теоретической модели пока нет. Известно, что существуют циклы солнечной активности от 5.5 до 2000 лет, наиболее известен 11-летний (с учетом полярности 22-летний) цикл. Солнечная активность оказывает заметное влияние на инсоляцию (приток лучистой энергии на Землю) и тем самым – на колебания климата.

Астрономическая теория климата – учитывает параметры орбиты Земли (эксцентриситет, угол наклона, прецессия). Данная теория восходит к XVIII веку (Лаплас, Лагранж), наибольшее признание получила после работ М. Миланковича в 20-30 годах XX века. На этом основании разработаны физические модели, объясняющие колебания климата в прошлом (на 30 млн. лет назад) и прогнозирующие его в будущем (1 млн. лет вперед) [6]. Данная теория позволяет объяснить чередование ледниковых периодов, установив долгопериодические тысячелетние (20 000, 40 000, 100 000 лет) периоды колебаний климата.

Геофизические факторы, связанные со свойствами Земли как планеты – форма, размеры и масса Земли, скорость ее вращения вокруг оси, гравитационное и магнитное поля, строение и внутренние процессы (включая тектоническую деятельность), внутренние источники тепла (и определяемый ими геотермический поток тепла и вулканизм), состав атмосферы. Эти факторы, как пра-

вило, изучаются отдельно своими методами, а в модели климата учитываются в качестве параметров. По этим факторам можно выделить модели следующих типов.

Модели образования и эволюции Солнечной системы тесно связаны с геологической историей Земли и пониманием ее строения. Используются методы и модели физики и химии плазмы (магнитогидродинамика плазмы, химические процессы, процессы конденсации) [7]. Общепризнанной теории пока нет.

Модели мантии Земли изучают внутренние геодинамические процессы, главным образом, используются модели конвекции вязкой жидкости. С помощью этих моделей исследуется движение литосферных плит (дрейф континентов), которое влияет на рельеф и на картину океанических течений, а также вулканизм. Вместе с этим существуют эмпирические данные, которые позволяют восстановить историю вулканической деятельности. Пока невозможно в точности определить, как вулканизм влияет на климат. Считается, что выбросы вулканов, попадая в атмосферу, влияют на ее оптические свойства. Основные компоненты выбросов – аэрозоли, препятствующие проникновению солнечного излучения на Землю [17]. Однако ряд климатологов подвергают сомнению данную точку зрения [4]. Пока невозможно точно предсказать извержение того или иного вулкана, основываясь только на физических моделях, поэтому часто используют статистические методы.

Модели формирования рельефа, помимо тектонических процессов, описывают эрозийные. С помощью этих моделей исследуют динамику рельефа и его влияние на поверхность суши и океан.

Геомагнитные модели – модели, исследующие закономерности динамики геомагнитного поля Земли. Теоретические модели пока еще находятся в стадии разработок, однако эмпирически была исследована динамика геомагнитных полюсов и определены положения полюсов в прошлом и будущем [8]. Пока нет теории, позволяющей точно сказать, как геомагнетизм влияет на климат.

Фотохимические и оптические модели атмосферы – используют модели фотохимии и оптики для изучения состава атмосферы и его изменений. При этом особое внимание уделяется влиянию спектральных оптических свойств химического состава атмосферы на радиационный баланс Земли (радиационный форсинг газов и связанный с этим парниковый и антипарниковый эффекты) [10]. Модели данного типа позволяют учесть возможные климатические изменения при качественном и количественном изменении состава атмосферы (например, при попадании в атмосферу различного рода выбросов).

Нуль-мерные радиационные модели – модели, учитывающие радиационные и атмосферные факторы. В этих моделях рассматривается изменение средней глобальной температуры, тепловой и радиационный режим при осреднении по всему пространству. При учете оптических факторов атмосферы модели этого типа позволяют грубо оценить влияние парникового эффекта.

Циркуляционные факторы – связаны с процессами, протекающими внутри системы, состоящей из атмосферы, гидросферы (океан и ледники), литосферы (поверхность суши) и биосферы – перераспределение энергии и веще-

ства внутри указанной системы. Считается, что именно циркуляционные факторы отвечают за появление и частоту экстремальных явлений природы [4].

Энергобалансовые – одномерные (широтные) радиационные модели. В этих моделях рассматривается изменение средней глобальной температуры, тепловой и радиационный режим при осреднении по двум координатам [9, 10]. Будучи по построению грубыми, эти модели позволяют описывать упрощенный среднегодовой климат в зависимости от широты. Энергобалансовые модели используются для определения температуры поверхности Земли.

Радиационно-конвективные – одномерные модели диффузионного типа, описывающие вертикальные профили температуры в отдельных столбах атмосферы при осреднении по горизонтальным переменным, либо при пренебрежении горизонтальным переносом тепла [5, 10]. В моделях наряду с радиационным переносом рассматриваются конвективные процессы, возникающие при неустойчивых вертикальных распределениях температуры. С помощью этих моделей изучают закономерности изменения температуры с ростом высоты и связи потоков излучения стратосферы с температурой тропосферы.

Малопараметрические модели циркуляции атмосферы – используют методы теории подобия [11]. Являются упрощенными приближениями моделей общей циркуляции. Используются для качественного выяснения возможной роли тех или иных климатических факторов и обратных связей и предварительной оценки их количественного влияния.

Модели общей циркуляции – двух- и трехмерные модели для атмосферы, океана и их совместной системы. Класс подобных моделей наиболее многочисленный, поскольку помимо климата они используются для метеорологических прогнозов (прогноз погоды). Эти модели используют уравнения гидротермодинамики, описывающие перенос энергии и массы в атмосфере и в океане, т.е. движение воздушных и водных масс, участвующих в перераспределении энергии. Решения подобных уравнений локально неустойчивы: малые возмущения той или иной природы (неточность начальных условий, внутренние и внешние шумовые воздействия и т.д.) достаточно быстро нарастают во времени или в пространстве и, в конце концов, делают долгосрочный прогноз несостоятельным.

В *моделях общей циркуляции атмосферы* [12, 13] используются уравнения гидротермодинамики, т.е. нелинейные уравнения в частных производных. Атмосфера весьма подвижна, циркуляция энергии и массы в ней протекает быстрее, чем в океане, поэтому ее моделирование имеет основное значение при исследовании быстрых процессов порядка нескольких месяцев и до 1 года, – при установлении энергетического равновесия климатической системы.

При исследовании взаимодействия атмосферы с подстилающей поверхностью суши особо моделируются образование и колебания снежного покрова и материковых ледников. Существуют специальные модели, описывающие их динамику, согласованную с историческими данными по ледниковым периодам [5].

В *моделях циркуляции океана* [14] помимо гидротермодинамических уравнений используются уравнения, описывающие состояние и изменение морского льда (кристаллизация, таяние). Роль океана в климатических изменениях высока в силу его большей по сравнению с атмосферой инерционности, поэтому при исследовании медленных процессов от нескольких лет до нескольких десятилетий моделирование океанических процессов имеет особое значение.

Синтетические модели динамики атмосферы и океана [15] помимо моделей общей циркуляции используют модели взаимодействия атмосферы и океана на границе сред (взаимная передача энергии и материи – особое значение имеет обмен влагой, углекислотой, метаном).

Модели биотической регуляции климата, учитывающие биогеохимические циклы [16, 17], т.е. взаимные превращения и циркуляция химических элементов и веществ в системе атмосфера-океан-суша-биосфера. Наиболее важными являются глобальные циклы углерода, кислорода, азота, серы, фосфора. Эти модели позволяют учесть влияние биоты (прежде всего растений и животных) на климатическую систему и наоборот. По своему значению это один из важнейших классов моделей, поскольку связывает воедино динамику живой и неживой природы, что позволяет полнее оценить последствия климатических изменений для экосистемы и человека. Пока модели данного типа разработаны недостаточно подробно для того, чтобы дать исчерпывающий ответ на вопрос об этих последствиях.

Собственно климатические модели синтезируют перечисленные факторы и модели. Ввиду обилия факторов построить всеохватывающую модель климата на сегодняшний день невозможно. Поэтому все такие синтетические модели частичны: они учитывают лишь часть факторов, остальные выступают как параметры, или не рассматриваются вовсе. Это существенно сказывается на результатах моделирования и прогнозах, построенных с помощью таких моделей. При этом нужно учитывать, что роль некоторых факторов, процессов и взаимосвязей еще не изучена полностью, многие наблюдаемые процессы еще не получили адекватного общепринятого объяснения, а некоторые явления и взаимозависимости вообще скрыты от наблюдателей. С каждым годом количество новых наблюдений и фактов растет, но неопределенности сохраняются и даже растут, так как климатические модели весьма чувствительны к небольшим изменениям. Это еще больше осложняет задачу предсказания природных процессов, поскольку климат – сложная нелинейная самоорганизующаяся система, меняющаяся со временем. Подобные системы обычно демонстрируют свойство неустойчивости, что предопределяет наличие горизонта предсказуемости, который с трудом поддается расширению. Все это обуславливает ограниченность теоретических физических моделей климата и получаемых с их помощью результатов.

Теперь можно приступить к анализу проблемы глобального потепления. Сначала факты. За последние 150 лет среднегодовая температура Земли имеет положительный тренд в сторону повышения, и к настоящему моменту в среднем выросла на $0.8 \pm 0.2^\circ\text{C}$. При этом на данный тренд накладываются внутриве-

ковые десятилетние (30-40 лет) и годовые (3-5 лет) колебания. По большому счету, это все, что известно о потеплении. Как поведет себя среднегодовая температура в будущем точно неясно, существуют несколько точек зрения, из которых основных две.

1. Температура будет продолжать расти, по крайней мере, до 2100 г. – преобладающее мнение.
2. Температура перестанет расти к середине 21 века, после этого момента снизится.

Такой разброс мнений связан с тем, что по поводу причин, вызвавших потепление, нет устоявшейся позиции, ведутся споры и дебаты. Часть исследователей считает, что потепление связано с воздействием деятельности человека, другие говорят о естественных причинах, третьи утверждают о необходимости учитывать и естественные, и антропогенные влияния. При прогнозе динамики климата на 1-2 столетия наиболее пристальное внимание в работах современных исследователей уделяется следующим климатообразующим факторам.

1. Естественные

- астрономические факторы (колебания инсоляции, параметры орбиты Земли) – через несколько десятилетий будут способствовать снижению температуры и похолоданию;
- концентрация парниковых газов и аэрозолей в атмосфере – способствует потеплению в настоящем и ближайшем будущем;
- биогеохимические циклы атмосферы, океана, суши, биосферы;
- вулканическая активность – будет способствовать похолоданиям;
- автоколебания в системе атмосфера-океан.

2. Антропогенные

- тепловое загрязнение, вызванное выбросами тепла при сжигании топлива (от работающих промышленных предприятий и электростанций) в урбанизированных территориях – в настоящий момент его мощность в несколько тысяч раз меньше мощности солнечного излучения, поэтому считается, что его влияние ничтожно, однако в будущем весьма вероятно его увеличение, поэтому при столетних прогнозах этот фактор, видимо, необходимо учитывать;
- выбросы в атмосферу парниковых газов (углекислый газ, метан) и аэрозолей – будут нарастать (в связи с продолжающимся промышленным ростом);

Существующие на сегодняшний день методы не позволяют с полной уверенностью выявить причину потепления. По всей видимости, основная составляющая в повышении средней температуры Земли – естественная, она способна объяснить до 70-90% величины роста температуры, антропогенные воздействия могут быть ответственны за 10-15% при этом погрешности и неопределенности составляют около 10-20%.

Еще ожесточеннее споры о последствиях потепления для Земли в целом и для человечества в частности. Мнения диаметрально противоположны: от крайне пессимистических [18] до нейтральных [19] и даже оптимистических

[20]. И это понятно: за этими позициями зачастую стоят экономические и политические интересы государств и групп частных лиц. Разобраться, где исследования проблемы потепления объективны, а где сделаны "по заказу", весьма не просто. Поэтому сначала будут указаны те возможные последствия, наступление которых практически не оспаривается.

1. Таяние морских льдов и отступление материковых ледников (это предсказывают энергобалансовые и океанические модели).
2. Повышение уровня Мирового океана, как за счет таяния ледников, так и за счет прогрева верхнего слоя океана (радиационно-конвективные модели, модели общей циркуляции и океанические модели).
3. Возможные широтные сдвиги климатических поясов (энергобалансовые модели).
4. Более сильный нагрев суши и, как следствие, более сильный прогрев почв (энергобалансовые и термодинамические модели).
5. Возможные региональные изменения в появлении и частоте климатических экстремумов (эмпирико-статистические методы, а также модели общей циркуляции). Данный вид последствий наименее предсказуем.

Это непосредственные последствия потепления. То, как они повлияют на человека и его хозяйственную деятельность, т.е. каковы будут эколого-экономические последствия, пока не вполне ясно. Именно по этому вопросу ломаются копья в последние десятилетия. Понимая это, среди всех прогнозируемых рисков, видимо, следует рассмотреть средневзвешенные. За основу были взяты доклады МГЭИК (Межправительственной группы экспертов по изменению климата – Intergovernmental Panel on Climate Change) [21, 22]. Во-первых, это относительно официальный прогноз, во-вторых, помимо негативных последствий, в нем также учитываются и позитивные, в-третьих, различаются последствия для отдельных регионов. Насколько можно судить, в этих исследованиях использовались климатические модели общей циркуляции, радиационные модели и биологические модели (распространения растительности).

В докладах МГЭИК представлен прогноз и анализ возможных рисков на ближайшее столетие до 2100 г. Считается, что среднегодовая температура поверхности Земли к концу 21 века увеличится на 1-4°C, уровень океана повысится на 15-95 см.

Риски и возможные последствия для человека в разбивке по группам.

1. *Влияние на экосистемы:*

- а) изменение географического размещения экосистем и биоценозов (широтный сдвиг к северу);
- б) изменение видового состава растений и животных (по причине роста пожаров, болезней, вредителей);
- в) возможное изменение биопродуктивности – у некоторых видов растений и животных продуктивность снизится, у других повысится;
- г) изменение характеристик почв и земель (осушение болот, засоление, эрозия из-за переувлажнения, опустынивание, таяние мерзлоты).

2. Влияние на гидрологию и водные ресурсы:

- а) рост числа засух в засушливых районах может вызвать нехватку воды;
- б) учащение наводнений в умеренных и влажных зонах приведет к затоплению территорий и разрушениям инфраструктуры;
- в) повышение уровня океана приведет к подтоплению ряда территорий (шельфы, малые острова, прибрежные зоны).

3. Влияние на сельское хозяйство:

- а) рост вредителей-насекомых и возбудителей болезней приведет к снижению урожайности ряда с/х культур;
- б) повышение концентрации углекислого газа может привести к росту урожайности ряда культур и, наоборот, к снижению урожайности других культур.

4. Влияние на здоровье человека:

- а) рост числа инфекционных заболеваний (лихорадка, малярия, холера, чума);
- б) тепловые нагрузки;
- в) рост загрязнения воздуха.

5. Социально-экономические последствия:

- а) устранение негативных последствий потребует затрат;
- б) возможны миграции из регионов с неблагоприятными климатическими изменениями в более благоприятные регионы;
- в) потепление в умеренных и холодных территориях позволит сэкономить энергию на обогреве;
- г) отступление арктических льдов создаст возможности освоения Арктики и откроет новые торговые маршруты (Северный морской путь);
- д) возможен ущерб от потери ряда туристических зон.

6. Политические:

- а) одни государства окажутся в относительно более выгодном положении, чем другие, могут произойти изменения в расстановке политических сил;
- б) может усилиться борьба за территории и ресурсы.

Все эти последствия носят условно-вероятностный характер: они отражают лишь один из возможных сценариев развития событий, реальная ситуация же может оказаться как хуже, так и лучше. В определенном смысле этот сценарий позволяет оценить масштаб возможных изменений в связи с климатическими колебаниями и дает представление о том, какова позиция по данному вопросу ряда международных общественных организаций.

Резюме. Изменения климата Земли и в прошлом, и в настоящем всегда были связаны с определенными рисками, опасностями. Несмотря на имеющиеся средства наблюдения, развитый научный аппарат математического моделирования, пока не удастся полностью описать климат и спрогнозировать его динамику более чем на 20-30 лет. При этом предсказать удастся только небольшие количественные изменения, спрогнозировать же качественные изменения в климатической системе не представляется возможным.

Литература

1. Природные опасности России. Монография в 6 томах. – М.: КРУК, 2000-2002.
2. *Коробейников В.П.* Математическое моделирование катастрофических явлений природы / Новое в жизни, науке, технике. Серия "Математика, кибернетика". – М.: Знание, 1986, №1.
3. *Лосев К.С.* "Климат: вчера, сегодня... и завтра?" Л.: Гидрометеиздат, 1985.
4. *Борисенков Е.П., Пасецкий В.М.* Тысячелетняя летопись необычайных явлений. – М.: Мысль, 1988.
5. *Монин А.С.* Введение в теорию климата. – Л.: Гидрометеиздат, 1982.
6. *Шараф Ш.Г., Будникова Н.А.* Вековые изменения орбиты Земли и астрономическая теория колебаний климата // Труды Института теоретической астрономии АН СССР. – 1969, выпуск 14.
7. *Альвен Х., Аррениус Г.* Эволюция Солнечной системы. – М.: Мир, 1979.
8. *Медведев Н.Д.* Долгосрочный анализ миграции магнитных полюсов // Записки по гидрографии. – М., 1978, №201.
9. *Будыко М.И.* Изменения климата. – Л.: Гидрометеиздат, 1974.
10. *Зуев В.Е., Титов Г.А.* Современные проблемы атмосферной оптики. Том 9. Оптика атмосферы и климат. – Томск: Спектр, 1996.
11. *Голицын Г.С.* Введение в динамику планетных атмосфер. – Л.: Гидрометеиздат, 1973.
12. Модели общей циркуляции атмосферы. – Л.: Гидрометеиздат, 1981.
13. Атмосфера. Справочник (справочные данные, модели). – Л.: Гидрометеиздат, 1991.
14. Физика океана (под ред. Ю.П. Дорониной). – Л.: Гидрометеиздат, 1978.
15. *Гилл А.* Динамика атмосферы и океана. В 2-х томах. – М.: Мир, 1986.
16. *Костицын В.А.* Эволюция атмосферы, биосферы и климата. – М.: Наука, 1984.
17. *Крапивин В.Ф., Свирежев Ю.М., Тарко А.М.* Математическое моделирование глобальных биосферных процессов. – М.: Наука, 1982.
18. <http://www.poteplenie.ru>
19. <http://www.archipelag.ru/agenda/geoklimat/>
20. *Клименко В.В.* Почему не следует ограничивать эмиссию углекислого газа // Тепло-энергетика. – М., 1997, №2, с. 2-6.
21. <http://www.ipcc.ch/>
22. http://www.atmosphere.mpg.de/enid/ACCENT_ru/oe_2_7_66s.html

3. Ресурсные риски

Это преимущественно риски, связанные с истощением или исчерпанием природных ресурсов, а также в связи с загрязнениями. При рассмотрении этих рисков, удобно разделить ресурсы на следующие виды:

- 1) топливно-энергетические ресурсы (нефть, уголь, природный газ, ядерная энергия, гидроэнергия, солнечная энергия, ветряная энергия);
- 2) сырьевые ресурсы (металлы, минералы, сплавы);
- 3) природные ресурсы, связанные со средой обитания человека (земельные, водные, лесные, биоресурсы).

Теперь рассмотрим риски по каждому пункту.

1. Нехватка энергии способна привести к следующим последствиям:

- а) сокращение производства и потребления первичной энергии (тепла, электроэнергии);
- б) сокращение производства энергоемких видов сырья, материалов и товаров;
- в) возможное сокращение производства продовольствия (в силу энергоемкости последнего);
- г) повышение цен на энергоресурсы и энергоемкие товары, что может спровоцировать экономический кризис;
- д) обострение внешнеполитической обстановки, возможны конфликты и войны за ресурсы;
- е) снижение среднего уровня жизни населения, что может вызвать социальную напряженность и внутренние конфликты.

2. Истощение минерально-сырьевых ресурсов грозит следующим:

- а) сокращение производств, зависящих от данного вида сырья;
- б) повышение цен на сырье, что может спровоцировать экономический

спад или кризис.

3. Ресурсы среды обитания. Здесь риски связаны не только с истощением этих ресурсов, из-за чрезмерной эксплуатации, но и с загрязнениями, вызванными промышленными отходами:

- а) многие типы загрязнений негативно влияют на здоровье человека, что сокращает среднюю продолжительность жизни и увеличивает смертность среди населения;
- б) загрязнения снижают возможность пользования природными ресурсами – отрицательно влияют на флору и фауну, т.е. биоресурсы, отравляют пресную воду, заражают почву – то есть, в конечном счете, снижают ресурсную базу;
- в) деградация пахотных земель, неумеренный отлов рыбы могут вызывать сокращение производства продуктов питания;
- г) нехватка пресной воды приводит к росту смертности среди населения;
- д) обезлесивание сокращает число биоценозов, т.е. биоресурсов, а также может изменить процентный состав воздуха, т.е. ухудшить общую экологическую ситуацию.

В решении задач численного прогнозирования динамики производства, потребления и сроков исчерпания ресурсов, а также связанных с этим рисков можно выделить 3 подхода.

Первый подход дает прогноз о конкретных сроках истощения запасов того или иного вида ресурса. Он заключается в следующем. Динамика роста потребления отдельного вида сырья сопоставляется с конкретной оценкой запасов на базовый год прогноза. С помощью расчетов определяются сроки истощения запасов при а) постоянном уровне потребления и неизменных запасах, б) равномерных темпах роста потребления, в) произвольных темпах роста потребления и запасов. Подобные расчеты по отдельным видам ресурсов ведутся несколько десятилетий [1, 2], аналогичная методика используется, насколько

можно судить, при составлении прогнозов, фигурирующие в официальных документах правительственных и международных организаций: ООН [3], Министерства энергетики США [4], Горного бюро (в 1996 г. переформировано в Геологический обзор) США [5], Международного энергетического агентства (IEA) [6], Всемирного энергетического совета (WEC) [7]. Также подобные оценки зачастую используется в работах публицистического характера [8, 9].

Второй подход – связан с созданием математических моделей глобального развития (глобальное моделирование) [33, 34]. Данный подход предназначен для анализа современных тенденций развития глобальной социально-экономической системы. Проявляется эта глобальность, во-первых, в том, что подобные модели включают весь мир без исключения какой-либо страны или региона, а во-вторых, модели анализируют с разной полнотой и детальностью экономические, демографические, социальные, экологические, политические факторы в их взаимосвязях и взаимодействиях. Мы рассмотрим лишь те глобальные модели, которые, так или иначе, касаются проблемы ресурсов.

Первые ресурсные глобальные модели были построены в начале 1970-х гг. Это модели Дж. Форрестера [10] и Д. Медоуза [11, 12]. Обе модели основаны на методе системной динамики [13], при этом во второй использовались наработки первой, поэтому их структура и результаты схожи. Основное отличие второй от первой – это размерность (в модели Медоуза количество переменных и уравнений более чем в два раза больше, чем в модели Форрестера). В этих моделях анализировалась в самом общем виде последствия современных тенденций роста населения и производства в условиях ограниченности ресурсов и растущего загрязнения. Результаты моделирования продемонстрировали нестабильность глобальной системы и возможность глубокого кризиса в первой половине XXI века. Тем самым модели показали важность проблемы физических пределов развития мира, прежде всего истощения ресурсов.

Следующая модель, точнее, проект Месаровича – Пестеля [14] также носила прогнозный характер. Проект базировался на концепции органического роста взаимосвязанной глобальной системы с использованием методов теории многоуровневых иерархических систем, созданной в рамках кибернетики. Вместо общей модели была построена система 5 взаимосвязанных региональных моделей, каждая из которых предназначалась для анализа одной из 5 наиболее актуальных, с точки зрения авторов, проблем. Особое место среди них занимала проблема распределения между регионами добычи и потребления нефти, поэтому для нее была создана специальная энергетическая модель.

Латиноамериканская модель глобального развития А. Эрреры [15] создавалась для прогноза развития развивающихся стран. В этой модели мир пространственно дифференцирован (разбит на регионы), регионы взаимодействуют между собой, каждый регион описывается стандартной системой нескольких взаимосвязанных подмоделей, из которых центральное место занимала подмодель питания. С помощью модели исследовалась возможность для развивающихся стран удовлетворить нормативно заданные основные потребности одного человека и сроки достижения заданных условий.

В японской модели Й. Кайя [16] была предпринята попытка определить оптимальную структуру производства в системе "промышленно развитые – развивающиеся страны". На первом этапе имитировалось развитие рынка сырья при возможности изменения климатических условий на Земле вследствие антропогенного загрязнения, при этом строились прогнозы динамики потребления и запасов ресурсов. На втором этапе была построена многоотраслевая региональная экономическая модель, в которой предусмотрена обоюдная перестройка структур производства и в индустриальных, и в развивающихся странах. Оценивались результаты управления производственной структурой каждого региона с точки зрения выбранных критериев.

В 1976-77 г.г. появилась модель мировой экономики В. Леонтьева, созданной в рамках проекта ООН "Будущее мировой экономики" [17, 18]. Цель проекта – не просто прогнозирование современных тенденций, а проектирование развития мировой экономики. Методическую основу составили различные модификации модели межотраслевого баланса (национальные, региональные, межрегиональные, эколого-экономические). На этой основе была создана многоотраслевая региональная глобальная модель, и с ее помощью были исследованы различные альтернативные варианты развития мировой экономики.

В Советском Союзе в 1970-х годах во ВНИИСИ была создана система моделей глобального развития [19], предназначенная для системного анализа различных аспектов глобальных процессов и долгосрочного прогноза развития мира в целом и отдельных стран.

Третий подход связан с созданием специализированных прогнозно-проблемных моделей глобального развития, в которых основное внимание уделяется одной из глобальных проблем, а остальная проблематика моделируется гораздо менее детально, как "глобальный фон" в виде дополняющих и вспомогательных секторов и видов деятельности. Существует три крупных "семейства" подобных моделей – общеэкономические, энергетические и продовольственные. В рамках заявленной темы наиболее интересны два последних, которые и будут рассмотрены более подробно. Начнем с продовольственной проблемы ввиду ее важности.

Первым таким проектом в рамках глобального моделирования, видимо, следует считать голландский проект Х. Линнемана "Проблемы продовольствия и удвоение населения" [20]. В рамках проекта была создана модель, с помощью которой предполагалось получить прогноз развития сельского хозяйства в различных районах мира при условии сохранения современных социально-экономических структур и тенденций развития. Особенностью модели было наличие нескольких типов регионализации (по социально-экономической формации, по территориальной смежности, по почвенно-климатическим признакам), а также социальной дифференциации. Рост народонаселения, производства в несельскохозяйственных секторах задавался внешне, определяя конкретный сценарий развития.

Другой подход к продовольственной проблеме был использован в английской глобальной модели П. Робертса [21], основной задачей которой было

углубленное изучение экономических аспектов снабжения продовольствием на внешних и внутренних рынках. Помимо хорошо разработанного сельскохозяйственного сектора в модели также присутствовал сектор энергии и минерального сырья. Анализ различных прогнозных сценариев привел к общему выводу о том, что решение продовольственной проблемы неразрывно связано с развитием не только сельского хозяйства, но и промышленности.

Вслед за этими моделями появилось еще определенное количество моделей, исследующих глобальную продовольственную проблему, из которых укажем на работы [22, 23]. В подобных моделях проводится детальный анализ всего комплекса взаимосвязей агропромышленного производства на трех уровнях пространственной иерархии – глобальном, региональном и национальном. Теперь несколько слов скажем об экономических моделях.

Старейшей общеэкономической глобальной моделью является система ЛИНК, созданная в США под руководством Л. Клейна [24] для непосредственных консультаций правительственных органов в выборе мероприятий в рамках проводимого курса внутренней и внешней политики промышленно развитых стран. В систему входили отдельные модели по развитым странам, разработанные в каждой из этих стран, региональные модели развивающихся стран. Отдельно моделировались производство продуктов питания, добыча и потребление металлов, минералов (в том числе определенных видов), также мировая торговля за счет экспортно-импортных связей. Модельный комплекс систематически обновляется и расширяется.

Упомянем здесь также советские экономические модели глобального развития, разработанные в ИЭОПП СО под руководством А.Г. Гранберга и А.Г. Рубинштейна [25]. В основе моделей лежит модель В. Леонтьева, которая была надлежащим образом модифицирована. Были добавлены возможности экономического межрегионального взаимодействия, а также возможность управления со стороны регионов.

Теперь постепенно перейдем к энергетическим моделям.

Одним из первых масштабных проектов, посвященных проблеме ресурсов, следует считать проект группы Д. Габора "После века расточительства" [26]. Цель проекта состояла в изучении проблемы энергетических, сырьевых и продовольственных ресурсов планеты. Метод исследования – обычный теоретический анализ современного состояния и основных тенденций (без построения единой математической модели). Основной проблемой, по мнению авторов, является возрастающее растрачивание природных ресурсов планеты, их неэффективное и нерациональное использование, что связано с недостатками социального устройства и социально-экономических механизмов. Поэтому ее решение состоит в переходе к экономному и разумному управлению использованием ресурсов. Основные выводы и рекомендации в области энергетики таковы:

- перейти к более экономному потреблению энергии;
- обратить внимание на возможности более широкого использования угля, поскольку его запасы существенно больше запасов всех других видов энергосырья;

- обратить внимание на перспективы использования солнечной энергии;
- развивать ядерную энергетику с учетом проблем безопасности и военно-политических рисков.

В области сырья центральным местом, по мнению авторов, должен стать курс на его экономию, сокращение потерь, повышение экономической эффективности. Отмечалось, что за исключением некоторых дефицитных видов сырья, остальные распространены в земной коре в достаточных количествах, однако стоимость их добычи со временем будет возрастать. В связи с чем научные исследования и разработки должны быть направлены на усовершенствование технологий извлечения требуемых веществ из исходной руды.

При решении продовольственной проблемы авторы рассматривали несколько направлений. Основной упор при этом следует делать на снижение потребления в "переедающих" странах и регионах и перераспределение в пользу "недоедающих". Научные исследования должны быть направлены на интенсификацию сельского хозяйства. Также следует выяснить степень влияния человеческой деятельности на климат, чтобы учесть его возможные изменения.

По мнению авторов, энергия представляет собой *ключевую* проблему, от решения которой зависит преодоление трудностей с продовольствием и сырьем, поскольку развитие технологий по переработке вторичного сырья и использованию более бедных руд, а также расширение производства продуктов питания предполагают увеличение потребностей в энергии. Поэтому основные усилия следует направить именно на решение данной задачи.

Математических моделей по проблеме энергии на сегодняшний день существует довольно много (больше, чем общеэкономических и продовольственных) [35, 36], поэтому будут указаны лишь некоторые из них [27-30]. Основная цель таких моделей – прогноз поведения рынка нефти и других энергоресурсов при различных предположениях о динамике спрос–предложение в условиях разных темпов социально-экономического и технологического развития, структуры цен и т.п. Детальная проработка секторов производства и потребления энергии сочетается, как правило, с высокой степенью агрегации остальных отраслей и секторов хозяйства и данных демографических прогнозов (чаще всего задаваемых экзогенно). Рекомендации, которые предлагаются на основании этих моделей, обычно касаются текущей ситуации и, как правило, не выходят за рамки рекомендаций проекта Д. Габора. Среди подобного рода моделей отдельно стоит указать на регулярно публикуемые исследования Международного института прикладного системного анализа (IIASA) [31, 32]. Этот институт дает долгосрочные (на 50-100 лет вперед) прогнозы по развитию мировой энергетики, при этом, как правило, содержащие несколько сценариев.

Резюме. Проблема ресурсобеспеченности – важная и актуальная задача. В этом вопросе достигнут определенный уровень понимания методов решения задач, в том числе с использованием математического моделирования. Определены цели и намечены пути их достижения. Однако нельзя сказать, что разре-

шение данной проблемы – только вопрос времени. Предстоит еще много кропотливой работы и в области создания новых технологий, и в области управления, чтобы снизить те риски, которые имеются в настоящем, и могут вырасти в будущем.

Литература

Оригинальные работы и сетевые ресурсы

1. *Hubbert M.* Nuclear energy and the fossil fuels. – Houston, Texas: Shell development company (exploration and production research division), 1956, Publication №95.
2. *Ландсберг Г., Фишман Л., Фишер Дж.* Ресурсы США в будущем. – М.: Прогресс, 1965.
3. *Energy Statistics Yearbook 2004.* – United Nations, Department of Economic and Social Affairs, 2007. (<http://unstats.un.org/unsd/energy/yearbook/default.htm>)
4. <http://www.eia.doe.gov/international/>
5. <http://minerals.usgs.gov/minerals/index.html>
6. <http://www.iea.org/>
7. <http://www.worldenergy.org/>
8. *Паршев А.П.* Почему Америка наступает. – М., 2001.
9. *Крылов О.В.* Ограниченность ресурсов как причина предстоящего кризиса // Вестник Российской академии наук. – М.: Наука, 2000, том 70, № 2, с. 136-146.
10. *Форрестер Дж.* Мировая динамика. – М.: Наука, 1978.
11. *Медоуз Д.Л., Медоуз Д.Х., Рандерс Й., Беренс Ш.* Пределы роста. – М.: МГУ, 1992.
12. *Медоуз Д.Л., Медоуз Д.Х., Рандерс Й.* За пределами роста. – М.: Прогресс, Пангея, 1994.
13. *Форрестер Дж.* Основы кибернетики предприятия. – М.: Прогресс, 1971.
14. *Mesarovich M., Pestel E.* Mankind at the Turning Point. – N.Y., 1974.
15. *Herrera A.O. and others.* World model // Report in the Proceedings of the Seminar on the Latin American model at IIASA. – Laxenberg, Austria, October 7-11, 1974.
16. *Kaya Y., Suzuki Y.* Global constraints and new vision for development // Technological forecasting and social change. – N.Y., 1974, vol.6, №3, p. 277–297, №4, p. 371–388.
17. *Leontief W. and others.* The future of the world economy. – N.Y.: Oxford University press, 1977.
18. *Petri A., Carter A.* Resources, environment and the balances of payments.
19. *Гвишиани Д.М., Геловани В.А., Дубовский С.В.* Системное моделирование глобальных проблем // Сборник трудов ВНИИСи. – М., 1985, №3, с. 5-15.
20. *Linneman H.* Population doubling and food supply. – Free University of Amsterdam, 1974.
21. *Roberts P.* Models of the future // Omega. – 1973, vol. 1, №5.
22. *Borgstrom G.* The food–population dilemma // AMBIO. 1974, v.3, №3-4, p.109-113.
23. *Мельников Л.А., Третьяков Л.В., Уткин В.И.* Глобальная продовольственная ситуация // Сборник трудов ВНИИСи. – М., 1985, №3, с. 31-44.
24. *The SLIMLINK model on trade and development for the developing world* // Staff working paper №20. –Washington, D.C.: World Bank, 1975.
25. *Гранберг А.Г., Рубинштейн А.Г.* Модификации межрегиональной межотраслевой модели мировой экономики // Экономика и математические методы. – 1979, т. XV, вып. 2, с. 307-320.
26. *Gabor D. et al.* Oltre l'etra dello spreco. – Milano, 1976.
27. *Ridker R., Cecelski E.* Resources, environment, and population: the nature of future limits // Population Bulletin. Vol. 34, №3, August 1979.

28. Walker K. Materials consumption implications of a fully industrialized world // Resources policy. – 1979, №12, p. 242-259.
29. Deam R., Leather J., Hale J. World petroleum energy model // Chemsa. 1976, vol. 2, №3, p. 42-48.
30. Energy models for the EC. – Guildford, 1979.
31. Häfele W. World regional energy modeling // Energy Newsl. Vol 1, issue 2, 1980, p. 34-62.
32. Global energy perspectives. IIASA, WEC. – Cambridge University press, 1998.

Обзоры

33. О проектах "Римского клуба". / Препринт комитета по системному анализу при Президиуме АН СССР. – М.: ВНИИСИ, 1977.
34. Егоров В.А., Каллистов Ю.Н., Митрофанов В.Б., Пионтковский А.А. Математические модели глобального развития. – Л.: Гидрометеиздат, 1980.
35. Biswas A. World models, resources and environment // Environmental Conservation. – Switzerland, 1979, vol. 6, №1, p. 3-11.
36. Ulph A. World energy models – a survey and critique // Energy economics. 1980, №1, p.46-59.

4. Демографические риски

Это преимущественно риски, связанные с происходящим в настоящий момент глобальным демографическим переходом – процессом перехода от состояния с высокими показателями рождаемости и смертности к состоянию с низкими коэффициентами рождаемости и смертности.

Основные стратегические риски, связанные с данным явлением, таковы.

- 1) Повышение среднего возраста живущих, в частности, повышение численности людей старшего возраста (пенсионного и предпенсионного), что вызывает повышение нагрузки на работающих людей молодого и среднего возраста, также в силу продолжающегося снижения рождаемости нарастает нехватка рабочей силы, особенно молодых кадров.
- 2) В ряде промышленно развитых стран, уже прошедших демографический переход (преимущественно европейских), рождаемость упала ниже смертности, что привело к сокращению численности населения, а в перспективе может привести к вырождению и вымиранию коренного населения этих стран.
- 3) В связи с падением численности населения, особенно в молодых возрастах, сокращается численность армии, что может привести к снижению общей боеспособности вооруженных сил страны, и, как следствие, к поражению в возможной войне.
- 4) Из-за сокращения численности населения сокращается и число потребителей, происходит сжатие рынков, что может привести к падению прибылей производителей, и может привести к долговременному экономическому кризису.
- 5) В связи с нарастающим падением численности коренного населения активно растет миграция населения из других стран, преимущественно с

высокой рождаемостью, т.е. не прошедших демографический переход, либо из прошедших, но с меньшим уровнем жизни (однако в перспективе последний поток должен иссякнуть раньше, чем первый). В силу того, что страны-эмитенты и страны, принимающие население, как правило, принадлежат к разным культурам, подобная миграция может привести (а в ряде случаев уже приводит) к культурной неоднородности населения в странах-приемниках. Данное явление угрожает этно-конфессионально-культурными столкновениями и социальной напряженностью, а в перспективе – гражданскими войнами и физическим разрушением государств с низкими темпами рождаемости населения.

До сих пор не совсем ясен механизм демографического перехода, поэтому все существующие на сегодняшний день математические модели носят умозрительный феноменологический характер. Таковы, к примеру, три модели, созданные в Институте прикладной математики им. М.В. Келдыша РАН: модель С.П. Капицы, модель А.В. Подлазова и модель А.С. Малкова. Эти модели как раз и посвящены вопросу выяснения причин и механизма глобального демографического перехода.

1. *Модель С.П. Капицы* [1, 2, 3].

В своей модели С.П. Капица говорит об информационном взаимодействии между людьми (и шире, обществами), что является, по его мысли, основой роста численности населения; а также о характерном времени жизни человека (42 года), являющегося, по сути, удвоенным временем жизни одного поколения (20-25 лет). Именно в этом параметре С.П. Капица видит причину демографического перехода. Когда прирост численности населения Земли за одно поколение становится сравнимым с числом уже живущих людей, информационное взаимодействие ослабевает и происходит снижение темпов роста численности населения, а затем и его стабилизация примерно к концу 22 века на уровне около 14 млрд. чел.

2. *Модель А.В. Подлазова* [4, 5].

В этой модели вводится понятие *жизнесберегающих технологий*, отвечающих за снижение коэффициента смертности. Именно развитие жизнесберегающих технологий является двигателем роста численности населения, и именно они определяют численность населения Земли. В силу того, что коэффициент смертности ограничен снизу нулем и не может стать отрицательным, он не может снижаться беспредельно, поэтому жизнесберегающие технологии также не могут развиваться беспредельно и имеют ограничение по своим значениям сверху. Именно этот факт и является причиной демографического перехода: численность населения, будучи тесно связана с жизнесберегающими технологиями, перестает расти, как только те достигают своего потолка. В соответствии с результатами модели численность населения выйдет на стационар примерно к середине 22 века, предельное значение при этом 10-11 млрд. чел.

3. *Модель А.С. Малкова* [6].

А.С. Малков помимо численности населения и уровня технологий вводит такой показатель как *уровень грамотности*. Считается, что образование (гра-

мотность) является основной причиной снижения рождаемости, а именно в этом, по мнению А.С. Малкова, заключается существо явления демографического перехода. То есть причиной демографического перехода является повышение уровня грамотности, соответственно, как только наступит поголовная грамотность (т.е. уровень грамотности станет 100%), переход завершится, и численность населения стабилизируется уже к середине 21 века на уровне 8.5 млрд. чел.

Помимо указанных моделей существуют также специализированные демографические модели, строящие прогноз динамики численности населения на основании имеющихся данных с использованием сценарно-экспертного подхода и вероятностных методов экстраполяции данных [7]. Эти модели основаны на учете инерционности демографических процессов, благодаря которой серьезные изменения демографического поведения и демографических характеристик (фертильности, рождаемости, детской и общей смертности, ожидаемой продолжительности жизни и других) происходят в ходе смены поколений. Основной расчетный метод – когортный анализ, т.е. передвижка (сдвиг в будущее) возрастных когорт населения с учетом повозрастной смертности (по пятилетним или одногодичным когортам). Вариантность прогнозов связана со значительной степенью неопределенности показателей повозрастной рождаемости и смертности. Это приводит к разбросу прогнозов, получаемых на основе "высоких", "средних" и "низких" сценариев поведения демографических характеристик.

Иногда сценарно-экспертный метод дополняется вероятностным [8]. Суть его такова. Сначала задаются границы изменения основных демографических характеристик в течение прогнозируемого интервала времени. При этом используется гипотеза о равномерном распределении каждой такой характеристики в пределах заданных границ. Затем просчитываются все возможные траектории динамики численности населения при варьировании каждой характеристики последовательно от нижней и до верхней границы. Эти траектории осуществляются с разными вероятностями, таким образом, из них можно указать наиболее или наименее вероятную.

Такие модели чаще всего используются демографами в силу их относительной простоты и надежности, однако точность их невысока, и они могут дать обоснованный прогноз лишь на сравнительно небольшой промежуток времени (не более 20-25 лет). Подобные модели, насколько можно судить, используются при составлении прогнозов ООН [9], Бюро цензов США [10] и других организаций.

Во всех указанных моделях считается, что численность населения Земли стабилизируется на определенном постоянном уровне (в каждой модели он свой). Строго говоря, подобное утверждение вовсе не является следствием из моделей, а закладывается в них в момент их создания, поэтому оно обязательно окажется верным.

Модели, в которых бы проигрывались различные варианты развития событий, а не только какой-то один, нам неизвестны. В то же время демографиче-

ская ситуация достаточно напряженная и быстро развивающаяся, угрозы, связанные с этим, требуют быстрого ответа, поэтому такие модели весьма насущны.

Резюме. Таким образом, можно констатировать, что пока нет достаточно проработанных математических моделей демографического перехода, могущих дать надежный прогноз динамики численности населения Земли более чем на 20-30 лет. Имеющиеся модели либо умозрительны и мало проработаны, либо ненадежны в долгосрочных прогнозах. В то же время нельзя отрицать определенных успехов, достигнутых в понимании причин демографического перехода. Поэтому можно надеяться на появление в скором времени новых моделей, которые будут обладать большей предсказательной силой и объясняющими.

Литература

1. *Капица С.П.* Сколько людей жило, живет и будет жить на Земле. Очерк теории роста человечества. – М.: Международная программа образования, 1999. – 240 с.
2. *Капица С.П., Курдюмов С.П., Малинецкий Г.Г.* Синергетика и прогнозы будущего/ Сер. "Кибернетика: неограниченные возможности и возможные ограничения". – М.: Наука, 1997. – 285 с.
3. *Капица С.П.* Модель роста населения Земли и демографическая ситуация в России // Новая парадигма развития России (Комплексные исследования проблем устойчивого развития). – М.: Academia, МГУК, 1999, с.104-120.
4. *Подлазов А.В.* Теоретическая демография как основа математической истории// Препринт ИПМ им. М.В. Келдыша РАН. 2000, № 73.
5. *Подлазов А.В.* Основное уравнение теоретической демографии и модель глобального демографического перехода // Препринт ИПМ им. М.В. Келдыша РАН. 2001, № 88.
6. *Малков А.С., Коротяев А.В., Халтурина Д.А.* Математическая модель роста населения Земли, экономики, технологии и образования // Препринт ИПМ им. М.В. Келдыша РАН. 2005, № 13.
7. *Акимов А.В., Линец Ю.Г.* Операционное описание демографического перехода для прогнозирования динамики численности населения // Препринт ЦЭМИ РАН, 1980.
8. Население России 2002. Десятый ежегодный демографический доклад (под ред. А.Г. Вишневого). – М.: Центр демографии и экологии человека, КДУ, 2004.
9. <http://www.un.org/popin>
10. <http://www.census.gov/ipc/www/idb/>

Заключение

Для того, чтобы управлять рисками и вообще стратегическим развитием, нужно четко представлять:

- 1) риски, которыми можно непосредственно управлять;
- 2) риски, управление которыми напрямую затруднительно или невозможно;
- 3) неопределенные риски, масштаб и характер которых полностью неизвестен;

4) средства управления, т.е. имеющиеся ресурсы.

В данной работе внимание уделено последним трем пунктам. Так, например, климат и демография являются внешними факторами: они задают рамки развития. Повлиять на них как-то напрямую в настоящее время невозможно, можно лишь учесть при стратегическом планировании и по необходимости приспособиться. Астероидная опасность – неопределенный тип рисков: нет полной информации, неясны масштабы, непонятно надо ли принимать какие-то меры вообще, поскольку они весьма дорогостоящие. Последний тип рисков – ресурсный, в работе были рассмотрены риски, связанные с возможной нехваткой материальных ресурсов (главным образом, энергии и сырья). Понятно, что без ресурсов как средств управления риском, говорить о каком-либо управлении просто не приходится. Поэтому ресурсные риски являются тем узким местом, которое и определяет наши возможности по борьбе с опасностями и рисками вообще.