

## РИСКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ И ГЛОБАЛЬНАЯ ЭКОДИНАМИКА

Канд. физ.-мат. наук **В.Ю. Солдатов**,  
д-р физ.-мат. наук, проф. **В.Ф. Крапивин** (vkrapivin\_36@mail.ru),  
(Институт радиотехники и электроники им. В.А. Котельникова РАН)  
канд. техн. наук **И.И. Потапов** (ipotapov37@mail.ru)  
(Всероссийский институт научной и технической информации РАН)

## RISKS OF DECISION-MAKING AND GLOBAL ECODYNAMICS

**V.Yu. Soldatov, V.F. Krapivin, I.I. Potapov**

*Ключевые слова: природа, риск, сценарий, прогноз, эффективность, управление, динамика, принятие решения.*

*Key words: nature, risk, scenario, forecast, efficiency, control, dynamics, decision making.*

*Рассмотрены основные глобальные проблемы динамики системы природа-общество и обсуждены ключевые задачи достижения ее устойчивого развития. Проанализированы современные тенденции в изменении экологических систем и оценены характеристики современной глобальной экодинамики. Особое внимание уделено организации глобального геоинформационного мониторинга, который мог бы обеспечить надежный контроль за развитием процессов в окружающей среде с перспективой получения прогнозных оценок последствий реализации антропогенных проектов. Предложен новый подход к численному моделированию системы природа-общество и приведены демонстрационные результаты моделирования динамики характеристик этой системы при реализации ряда сценариев антропогенного воздействия на окружающую среду. Подчеркнута важность и необходимость развития адаптивных алгоритмов обработки данных мониторинга, позволяющих сократить экономические расходы на его организацию и повысить достоверность получаемых оценок характеристик глобальной экодинамики. Указаны перспективные подходы к развитию технологии оценки риска от реализации принимаемых решений по управлению экосистемами. Работа выполнена при поддержке Российским фондом фундаментальных исследований (Грант РФФИ № 19-07-00443а).*

*Basic global problems of the nature-society system dynamics have been considered and the key problems of ensuring its sustainable development have been discussed. An analysis has been made of the present trend in changing ecological systems and characteristics of the present global ecodynamics have been estimated. The emphasis has been placed on the organization of global geoinformation monitoring, which could provide a reliable control of the environmental processes development with further obtaining of prognostic estimates of consequences of realization of anthropogenic projects. A new approach to the NSS numerical modeling has been proposed and demonstrative results have been given of modeling the dynamics of this system's characteristics in realization of some scenarios of anthropogenic impact on the environment. The importance and the need has been emphasized of development of adaptive algorithms of monitoring data processing which make it possible to cut the economic expenses on its organization and raise the reliability of the obtained estimates of the global ecodynamics characteristics. Perspective approaches have been given to development of technology to estimate the risk of realization of decisions on ecosystems' management. This study was supported by Russian Fund for Basic Research (Grant № 19-07-00443a).*

## Управление риском и устойчивое развитие

Принимая данное Кондратьевым и др. [6] определение устойчивого развития за основу, рассмотрим его различные аспекты, связанные со стратегией поведения человека в условиях, когда от принятия решения зависит тенденция развития системы климат-биосфера-общество (СКБО). Уровень риска от принимаемых решений на данном этапе развития человечества может быть оценен не только результатами ближайшего времени, но и последствиями в далеком будущем. В этом смысле разработанная и примененная сейчас неэффективная стратегия управления риском от принятых решений может привести к катастрофическим последствиям [8]. В частности, это касается различных решений международных организаций по управлению природопользованием, изменению земных покровов, воздействию на антропогенные процессы и т.п. В условиях ограниченности методик долгосрочных прогнозов ошибочное решение может вызвать необратимые последствия экономического характера с развитием нежелательных для человечества процессов в окружающей среде. Тем более, что уже в начале 21-го столетия большинство ключевых показателей среды обитания живых существ, особенно характеризующие безопасность человека, находятся в состоянии, близком к критическому, а в некоторых регионах планеты в угрожающем состоянии.

Риск возникновения неблагоприятных для человека условий окружающей среды в основном связан с вероятностью природной или техногенной катастрофы как следствия ранее принятого решения [7, 9, 10]. Катастрофы вообще и стихийные бедствия в частности несут угрозу жизни людей, и поэтому их прогнозирование с целью предотвращения является необходимым элементом современной науки о процессах в СКБО. Оценка риска возникновения природной катастрофы и получения ущерба требуют привлечения технологии междисциплинарного анализа огромного количества информации о различных аспектах функционирования СКБО. В первую очередь экологическая безопасность, рассматриваемая в широком понимании этого сечения СКБО, тесно связана с социально-экономическим уровнем развития общества, функционирующего на данной территории. Например, для условий России многие показатели развития общества находятся в закритическом состоянии. Так по сравнению с Германией в России в 50 раз меньше выделяется средств для обеспечения экологической безопасности. Другие показатели, такие как природоохранные затраты и экологические потери на территории России отклоняются от предельно-критических значений в сторону ухудшения положения в 2,5 и 3,5 раза соответственно. Более того, большинство показателей развития СКБО на территории России говорят об отрицательной тенденции в направлении ослабления готовности российского общества к предотвращению стихийных бедствий и к преодолению их последствий. Если на территории многих развитых стран большинство природных катаклизмов относятся к категории "капризов природы", то на территориях многих регионов России они приносят ощутимый ущерб. Спектр природных аномальных явлений на территории России включает наводнения, землетрясения, лесные пожары, смерчи, аномальная жара, сильные морозы и загрязнения атмосферы.

Незагаданные в настоящее время тайны многих природных явлений требуют поиска путей их формализованного описания, чтобы появилась возможность их предсказания. Поскольку все процессы, происходящие в СКБО, в той или иной степени взаимосвязаны, то стремление создать глобальную модель СКБО (ГМСКБО) с широким набором функций является одним из возможных путей

решения глобальной проблемы прогнозирования чрезвычайных ситуаций в окружающей среде. Среднестатистические зависимости, создаваемые для описания корреляций между частотой природных катастроф и их последствиями, оказываются во многих случаях достаточно эффективным средством для выработки стратегических решений по предотвращению природных катастроф. В этом смысле широко известен закон Рихтера-Гутенберга, реализация которого для территории США выглядит следующим образом:

$$\log N = \begin{cases} 1.65 - 1.35F & \text{для наводнений,} \\ 1.93 - 1.39F & \text{в случае торнадо,} \\ 0.45 - 0.58F & \text{для ураганов,} \\ -0.55 - 0.41F & \text{при землетрясениях.} \end{cases}$$

где  $F$  - логарифм среднего числа погибавших ежегодно за последние 100 лет,  $N$  - число событий.

Знание закономерностей возникновения природных катастроф, умение предсказывать катастрофические события и наличие механизмов предупреждения бедствий не дают полной защиты человека и окружающей его инфраструктуры от потерь и разрушения. Необходимо, чтобы эти составляющие были востребованы людьми с определенным уровнем понимания риска и осознания опасности. Введение понятия "культура безопасности" отражает кодекс поведения, нормы морали и эмоциональный отклик на катаклизмы.

Риск, как мера опасности, оцененный с учетом множества факторов может служить ориентиром для решения проблем управления совокупностью потенциальных факторов, способных нарушить среду обитания человека и изменить условия функционирования общества. Риск является более емким понятием, чем вероятность природной катастрофы. Он включает вероятность неблагоприятного события и объем потерь в результате его реализации. Другими словами, риск отражает меру опасности природного явления, включающую оценки уровней неблагоприятности по различным аспектам. В тоже время, риск имеет и субъективную составляющую, измерение которой с помощью формальных методов принятия решений с учетом наличия интуитивных оценок ситуации и психологических норм восприятия окружающей среды. Многие вопросы решаются на уровне принятия законодательных актов, которые отражают общие принципы оценки опасностей.

В целом понятие риска охватывает различные его сечения, характеризующие составляющие вероятности неблагоприятного изменения условий существования человека, включая природные, экономические, социальные, культурные и религиозные факторы. Каждое из этих сечений является сложной нелинейной функцией множества параметров СКБО, прогнозирование изменений которых составляет предмет современной науки о глобальных изменениях. Важными здесь являются экономические рычаги управления процессами развития СКБО. Именно соотношение между экономикой, природными ресурсами и энергетикой во многом определяет направленность развития глобальных процессов. В этом смысле основная задача человечества состоит в поиске компромисса между нарастающими потребностями увеличивающегося "общества потребления" и природой, имеющей ограниченные пищевые и энергетические ресурсы. И на этом пути человечество оказалось на распутье между стратегией глобализации и регионально-

го управления. Уровень риска получить неблагоприятное направление развития для многих бедных стран остается достаточно высоким по причине наличия в стратегии развитых стран элемента присвоения избыточных ресурсов. Поэтому вопрос о включении страны или региона в процесс глобализации является важным именно с позиции оценки риска последствий. Ведь используемый для оценки этого риска индекс глобализации, включающий переменные, которые характеризуют уровень экономической интеграции, развития технологий, политические аспекты и открытость общества для информационных контактов не предусматривает безвозмездной передачи избыточных ресурсов от одних стран другим. По состоянию на 2016 г. 63 страны с населением 84.6% от глобального занимали 96.2% мирового ВВП. И, казалось бы, естественным остальным странам оказать помощь к выходу по индексу развития на уровень, соответствующий потреблению энергии порядка 5 тонн нефтяного эквивалента на одного жителя в год.

Многие эксперты по-разному оценивают риск от реализации стратегии глобализации, внедряемой развитыми странами. Lomborg [21] объясняет как для достижения политических целей путем запугивания населения грядущими катастрофами рождаются и распространяются "мифы окружающей среды". В результате обсуждение важных проблем глобальной экодинамики пускается по ложному течению с бесперспективными исходами. Lindsey [20] обсуждает политические и экономические механизмы управления глобализацией, отмечая противоречивость законов развития экономики в прошлом и будущем. Он рисует картину современного течения глобализации как благоприятную перспективу будущего экономического устройства мира. Callinicos [14] анализирует и подвергает критике так называемый "третий путь" развития человечества, который пропагандируют США, Англия и Германия с либерализмом в свободной экономике и возможным государственным социализмом. Этот путь приведет человечество к еще более контрастным экономическим различиям с неконтролируемым ростом социального неравенства. Атакуя теоретические основы нового рынка Callinicos [14] показывает наличие американской имперской тенденции к политической глобализации. Кондратьев и др. [5] обращают внимание на то, что наряду с экономикой в процессе глобализации не менее важную роль играют культура, политика и биология, так как человечество живет в мире открытых систем и в зависимости от взаимодействия этих составляющих СПО могут формироваться многие глобальные процессы. Процесс глобализации рассматривается с этических норм, согласование которых с экономикой является одним из факторов предотвращения негативных тенденций в развитии современного общества. Торговые войны, концентрация капитала, искажение инвестиционных процессов и скрытое ограничение социальных прав - вот базовые компоненты современной идеологии глобализации.

### **Показатели эффективности управления риском от природных катастроф**

Оптимизация риска страхования от природных катастроф с каждым годом становится все более актуальной задачей, так как экономические потери нарастают и становятся практически плохо предсказуемыми. Например, страховые выплаты только за разрушения от урагана Hugo в 1989 г. составили 5 млрд. долларов, превысив более чем на 50% наибольшие потери от предшествующих природных катастроф. Однако спустя три года страховые потери от урагана Andrew превысили потери от урагана Hugo почти в 4 раза, а ураган Катрина в 2005 г. превысил страховые потери более чем в 12 раз. О масштабах суммарных экономиче-

ских ущербов от природных катастроф можно судить по данным за последние годы (в млрд. долларов): 2012 г. – 180, 2013 г. – 140, 2014 г. – 110, 2015 г. – 103 и 2016 г. – 175. Страховые потери как правило не превышают 40%.

Проблема управления риском как количественной мерой свойства СКБО обеспечивать безопасность жизненного пространства на данной территории представляет сложную математическую задачу оптимизации, которая успешно решается с помощью методов логико-вероятностной теории, основанной на построении, решении и исследовании ЛВ-функций риска и безопасности структурно-сложных систем. Математической основой этих исследований служит алгебра логики и ее совместное использование с методами математического моделирования процессов, происходящих в СПО. Содержательная специфика такого подхода к оценке риска возникновения природной катастрофы определяется точностью прогноза развития природно-антропогенных процессов на данной территории и надежностью выдвигаемых сценариев, заменяющих отдельные элементы этого прогноза.

Согласно Соложенцеву [11] для оценки эффективности управления риском следует использовать дискретные множества параметров  $\{Z_j\}$ , влияющих на эффективность, и шкалу  $Y$  показателя эффективности. В этом случае введение целевой функции  $F=N_{1c} + \dots + N_{jc}$ , где  $N_{jc}$  - число корректно распознанных событий на шкале  $Y$  в классе  $j$ , и максимизация  $F$  позволяют определить веса факторов, влияющих на эффективность. Сложность этой задачи определяется отсутствием достоверных данных о статистических характеристиках этих факторов. Преодоление возникающих трудностей возможно с применением методов оценки уровня самоорганизации и саморегуляции природных систем и синергетики. В частности, применение D-SELF теории дает возможность ввести обобщенную характеристику состояния СКБО в виде нелинейной функции  $\xi_0 = \sqrt{\xi_i \xi_i^*}$ , где  $\xi_0$ ,  $\xi_i$  и

$\xi_i^*$  - параметры СКБО, удовлетворяющие трем аксиомам:

- *дискретности* элементов внутри и вне СПО при их взаимодействии;
- *иерархии* элементов внутри и вне СКБО;
- *сопряженности* между дискретными элементами иерархии структуры

внутри системы ( $\xi_i$ ) и вне системы ( $\xi_i^*$ ) в виде зависимости

$$\xi_0 = \sqrt{\xi_i \xi_i^*}.$$

Синтез модели D-SELF применительно к СПО является самостоятельной задачей и здесь не рассматривается. Отметим лишь, что метод моделирования эволюционной динамики природных систем, основанный на технологии D-SELF, имеет общие черты с технологией эволюционного моделирования. В обоих случаях эволюция природной системы рассматривается как дискретный процесс смены ее состояний в некотором параметрическом пространстве. В рассматриваемом случае экономические показатели и социальная инфраструктура территории выделяются в отдельный уровень иерархии параметров и рассматриваются как показатели эффективности управления риском. Остальные характеристики функционирования СКБО рассматриваются как внешние параметры.

Частота и интенсивность природных катастроф нарастают и соответственно растут экономические ущербы, наносимые природными катастрофами. Поэтому детальные анализы соотношений между параметрами природных катастроф и такими

характеристиками региональной СКБО, как инфраструктура, уровень экономического развития, состояние общественного строя, уровень образования населения и отношение к религии являются важным этапом выработки региональной стратегии по преодолению последствий природных катастроф. Ясно, что экономические механизмы поддержки регионов, пострадавших от природных катастроф, должны быть оптимизированы с учетом реального состояния СКБО. По оценкам Мирового банка характеристики бедности имеют следующие показатели:

- третья часть населения развивающихся стран относится к бедноте, а 18% из них являются нищими;
- примерно 50% бедных и 50% нищих живет в Южной Азии;
- бедность преобладает в сельской местности;
- основные средства существования для бедных добываются в сфере сельского хозяйства.

Развитие инфраструктуры играет важную роль в сокращении бедности. Но именно инфраструктура подвергается большим разрушениям природными катастрофами. Так в Азии почти 70% природных катастроф приходится на наводнения, каждое из которых в последние годы наносило ущерб примерно в 15 млрд. долларов, основной вклад в который составляли потери в сельском хозяйстве. Поэтому неизбежно возникает задача сокращения риска за счет преобразования инфраструктуры. В развивающихся странах решение этой задачи связано с оптимизацией процессов пользования земельными ресурсами и выработкой стратегий экологического характера. При этом необходимо учитывать показатель роста плотности населения в развивающихся странах. Количественный и качественный динамизм в развитии городов ведет к сверх пропорциональному возрастанию уязвимости таких территорий. Эта тенденция развивающихся стран провоцируется экономическими интересами или социально-политическими обстоятельствами данного региона, когда на небольшой площади концентрируется огромное количество людей, что резко повышает риск для их жизни в условиях возникновения природной катастрофы. С другой стороны в этой ситуации легче создать защитные сооружения. Поэтому проблема оптимизации инфраструктуры региона становится со временем все более актуальной. В какой-то мере решению этой проблемы способствует принятый на 17-м пленарном заседании 4 сентября 2002 г. план выполнения решений Всемирной встречи на высшем уровне по устойчивому развитию (Йоханнесбург, Южная Африка). Этот план предусматривает мобилизацию технической и финансовой помощи развивающимся странам с целью сбалансированного экономического, социального и экологического развития всех регионов мира.

Соотношение между экономическими потерями при возникновении природной катастрофы и реальными гарантиями последующего финансового вложения для ликвидации последствий является одним из ключевых вопросов при формировании стратегий страховых компаний. Одной из успешных попыток формализации возникающих здесь процессов является развитая в работе [17] технология использования моделей катастроф при оценке и управлении рисками от экстремальных событий. Основное внимание авторы уделили риску от природных бедствий, но также обсуждают актуальные в настоящее время вопросы управления риском от терроризма. Цель проведенного исследования состояла в сокращении потерь от возможных в будущем опасностей. Университет Пенсильвании проверил предложенную технологию, проведя ряд численных экспериментов, показавших, что модельный подход к планированию финансового риска от природ-

ных катастроф позволяет оптимизировать страхование чрезвычайных событий. Необходимость в этом следует из наличия большой неоднородности в распределении по регионам земного шара отношения страховых выплат к суммарным потерям от природных катастроф. А если дополнительно принять во внимание распределение потерь по типам событий, то становится ясно, что модельная оптимизация может существенно повысить эффекты от страхования этих событий.

Одним из наиболее разрушительных и часто возникающих природных явлений является наводнение. Анализ последствий многочисленных наводнений, произошедших по всему миру уже в 21-м столетии показывает, что они вносят ощутимые изменения в социальное и экономическое развитие регионов. В связи с реальной опасностью наводнений для общества Европейское Экономическое Сообщество открыло финансирование проекта RIBAMOD (River Basin Modelling), в рамках которого решаются задачи управления гидрологическими рисками, охватывая наиболее важные темы:

- создание базы данных о водосборных бассейнах, которые могут инициировать наводнения;
- оценка рисков от принимаемых решений по защите и смягчению последствий от наводнений;
- разработка технологий планирования мероприятий по предотвращению наводнений и оперативному вмешательству в управление возникшим наводнением;
- создание планов взаимодействия различных групп специалистов при выполнении работ по уменьшению ущерба от наводнения;
- разработка рекомендаций по осуществлению инженерных и социальных мероприятий, реализация которых при наводнении может быть затруднена или невозможна, но необходима;
- анализ неопределенностей, которые могут возникнуть при угрозе наводнения или его возникновении из-за климатических или других природных процессов.

Большинство государств, на территории которых возникают наводнения, имеют службы по предотвращению и защите от наводнений. Структура и оснащение этих служб определяются региональной спецификой причин возникновения наводнений. Но независимо от этого существуют общие проблемы оценки риска для жизни, инфраструктуре и экономике от наводнения. Одним из наиболее эффективных путей решения этих проблем является прогнозирование гидрологических процессов на региональном и глобальном уровнях. Эффективность таких прогнозов зависит от развитости методов моделирования процессов в окружающей среде и уровня информативности систем природного мониторинга.

Возникновение природной катастрофы всегда приводит к экономическим потерям. В бедных странах население становится еще беднее и рассуждения об устойчивом развитии приобретают смысл выживания населения страны, а проблемы охраны окружающей среды и поиска равновесия в СПО на региональном уровне отодвигаются на второй план. Природное бедствие разрушает инфраструктуру как ключевой компонент экономического роста региона. Для почти 18% населения планеты бедность является критической и при возникновении природной катастрофы в регионах его проживания всегда создается сложная социальная ситуация, выход из которой возможен только при помощи развитых стран. Сокращение риска экономических потерь от природных катастроф в развивающихся регионах является, поэтому, одной из приоритетных проблем глобальной экодинамики.

## **Социальное и человеческое измерение риска**

Человеческое общество в своем развитии подошло к рубежу, когда корреляция между процессами в окружающей среде и социальным устройством общества достигает критических величин, при которых поведение даже одного человека может резко изменить глобальные процессы. Примером того является заявление Тони Блэйера в ноябре 2005 г. на совещании 20 стран в Лондоне о необходимости пересмотра Протокола Киото и о том, что наука найдет пути разрешения проблемы глобального потепления. Он также сказал, что с точки зрения непосредственной политики ни одна страна не желает жертвовать ее экономикой в связи с этой проблемой. Должны быть найдены другие пути ее решения, которые не будут ограничивать экономический рост и сдерживать процессы улучшения жизни во всем мире. Именно это высказывание одного человека открывает пути для поиска механизмов развития более высоких стандартов жизни и преодоления бедности.

Очевидно, что человечество перешло порог системной адаптации, позволяющей демпфировать отклонения от допустимых значений параметров СКБО и сохранять среду выживания, а потому необходимы безотлагательные меры по формированию нового взгляда на процессы в окружающем мире. Особенно это касается технократической парадигмы, которая определяет принимаемые решения и соответствующее мышление руководителей государств. Поэтому социально-политическая составляющая риска существенно важна при его оценке и определении задач общества по предотвращению ущерба от возможных последствий от принимаемых решений. В этом смысле среди задач, решаемых государственными структурами, наиболее важными являются:

- снижение уровня риска жизнедеятельности общества за счет государственной политики в сфере нейтрализации негативных процессов в окружающей среде;
- повышение социально-политической устойчивости общества путем формирования институциональных и информационных условий для подготовки населения к поведению в экстремальных обстоятельствах;
- увеличение мобилизационных возможностей общества для превентивного и адекватного реагирования на возникающие угрозы;
- развитие правовой основы и соответствующих структур для преодоления последствий от чрезвычайных событий и бедствий природного и техногенного происхождения.

Как справедливо замечает Чурин [12] социальные процессы в современном обществе зачастую не имеют целенаправленного управления, а потому расчет риска от принятия решений становится затруднительным. Взаимная зависимость социальных и природных процессов практически во всех регионах планеты обусловлена их интерактивностью. Поэтому регулирование социальных процессов неизбежно сказывается на функционировании природных систем, а это неизбежно приводит к необходимости развития правовых механизмов перехода к устойчивому развитию.

## **Прогнозируемые риски глобальных изменений**

Понятие риска тесно связано с понятием неопределенности прогноза развития событий в СКБО, появление которых для человека не является желательным. По определению Вигман [13] риск - это шанс появления неблагоприятного события внутри некоторого временного интервала. Для СКБО такие интервалы измеряются столетиями и общество в первую очередь хотело бы знать перспективы улуч-

шения жизни. Однако состояние современной науки об окружающей среде не дает гарантированного решения этой проблемы и поэтому имеется необходимость поиска конструктивных технологий оценки риска. Одним из надежных и конструктивных подходов к решению этой задачи является развитие ГМСКБО по пути расширения ее функций. В частности, количество различных неопределенностей, которые являются препятствием для надежного прогнозирования глобальной экодинамики, настолько велико, что без целенаправленного их анализа и отбора невозможно формально все их взаимосвязи учесть в глобальной модели. Например, из миллионов химических соединений и видов живых организмов достаточно хорошо изучены лишь тысячи.

*Эволюция биосферы и природные катастрофы.* Одним из многочисленных факторов развития эволюционных процессов в СКБО являются резкие изменения характеристик окружающей среды, вызывающие для живых организмов появление стрессовых состояний с возможным летальным исходом. В различные периоды эволюции масштабность и значимость отдельных факторов менялась. Изучением роли катастрофических процессов, происходивших в течение 11 500 лет, в развитии современной цивилизации заняты две международные программы ICSU "Dark nature: rapid natural change and human responses" (начата в 2004 г.) и "The role of Holocene environmental catastrophes in human history" (2003-2007 гг.). Более длительный период эволюции земной планетарной системы рассмотрен Condie [15], который проанализировал взаимодействие различных компонентов планеты за последние 4 млн. лет, выделив те, которые повлияли на историю наземных экосистем, океанов и атмосферы. Современный период характеризуется тенденцией к нарастанию антропогенно обусловленных природных катастроф, таких как наводнения, лесные и торфяные пожары, обезлесивание, опустынивание и появление эпидемий. Конечно, установить четкую грань между причинами возникновения природной катастрофы не всегда возможно. Но одно остается очевидным, что современная экодинамика сопровождается нарастанием числа чрезвычайных ситуаций в окружающей среде. Например, на рубеже 2000/2001 соотношение человеческих жертв от природных катастроф составило 17400/25000 несмотря на попытки многих государств принимать превентивные меры по защите населения. Максимальные экономические потери за последние годы были отмечены в 1995 г. (180 млрд. долларов) и в 2004 г. (230 млрд. долларов). Самыми мрачными годами природных катастроф были 1998 г. и 2004 г., в результате которых погибло 50 000 и 232 000 человек. Вклад различных типов катастроф в потери человеческих жизней и экономический ущерб от года к году колеблется, но наибольшие жертвы возникают от землетрясений, наводнений, зимних бурь и цунами. Например, из 700 природных катастроф, зарегистрированных в 1998 г. зимние бури и наводнения составили 240 и 170 случаев соответственно, а нанесенные ими экономические потери составили 85% от всех потерь. В Европе в середине ноября 1998 г. от морозов погибло более 215 человек. Экономические и человеческие потери нарастают с каждым годом. Так от зимних катаклизмов 2005/2006 гг. экономические потери в Европе превысили 1 млрд. долларов. В целом распределение потерь от природных катастроф представлено в табл. 1.

В общем случае статистика природных катастроф по всему Земному шару характеризуется такими показателями:

- среднее за год число природных катастроф в период 1985-2014 гг. составило 670 с ежегодными жертвами 1,62 млн. и экономическими потерями 3,9 млрд. долларов;

- среднее за год число природных катастроф за десятилетие 2004-2013 гг. достигло уровня 870 при ежегодных потерях 680 тысяч человеческих жизней и экономическим ущербом в 1,8 млрд. долларов;
- в 2014 г. зарегистрировано 980 природных катастроф различной мощности с 7700 жертвами и экономическим ущербом в 110 млрд. долларов;
- 2015 г. характеризовался увеличением природных катастроф до 1060 при 23000 жертв и 90 млрд. долларов экономических потерь.
- За период 1980-2015 гг. в США только от климатических аномалий (сильные морозы, снежные бури, торнадо) погибло 950 человек.
- За период 1980-2015 гг во всем мире от землетрясений погибло более 124 тыс. человек, от ураганов и тайфунов - около 15 тыс. человек.
- Соотношение разрушительных воздействий природных катастроф в среднем за 1994-2013 гг. составило 57% от наводнений, 22% от землетрясений и 21% от штормов.

Таблица 1

**Континентальное распределение экономических потерь от природных катастроф за 1995-2015 гг.**

Регион Земного шара	Экономический ущерб (млрд. дол.)	Доля от общего ущерба (%)
Африка	10	1
Америка	870	46
Азия	709	37
Австралия и Океания	40	2
Европа	262	14
<i>Весь мир</i>	<i>1891</i>	<i>100</i>

Значимость и масштабность возникновения критических ситуаций в окружающей среде зависит от состояния многих компонентов СКБО. Как правило, стихийные явления природы оцениваются в контексте приносимого ими ущерба для жизни и хозяйственной деятельности человека. Хорошо известно, однако, что, с другой стороны, стихийные явления служат важным фактором экодинамики в масштабах от локальных до глобальных. Для многих процессов, определяющих динамику экосистем, природные бедствия имеют ключевое значение как факторы регулирования такого рода процессов. Именно поэтому особое внимание в последнее время уделяется лесным пожарам, которые, являясь важным компонентом экодинамики, в основном возникают по антропогенным причинам и порождают как материальный ущерб, так и человеческие жертвы.

Регулярно возникающие в различных регионах земного шара лесные пожары все более выступают как фактор динамики экосистем, что проявляется в обусловленных пожарами выбросах в атмосферу парниковых газов и аэрозоля. Согласно имеющимся оценкам около 30% тропосферного озона, окиси углерода и углекислого газа, содержащихся в атмосфере, обусловлено вкладом лесных пожаров. Связанные с лесными пожарами выбросы аэрозоля в атмосферу могут оказывать существенное влияние на микрофизические и оптические характеристики облачного покрова, приводя к изменениям климата. Так спутниковые наблюдения, относящиеся к Индонезии, продемонстрировали, например, что наличие связан-

ных с продолжительными пожарами дымов в атмосфере привело к подавлению осадков, что способствовало дальнейшему развитию пожаров. В этом контексте Ji и Stocker [18] выполнили статистическую обработку данных спутника TRMM для измерений осадков в тропиках, а также данных аппаратуры TOMS (спектрометра для картирования общего содержания озона) об аэрозольном индексе (АИ) за период с января 1998 г. по декабрь 2001 г. с целью анализа закономерностей годового хода, внутрисезонной и межгодовой изменчивости числа лесных пожаров на суше в глобальных масштабах. В течение рассматриваемого периода имел место очень четко выраженный годовой ход пожаров в Юго-Восточной Азии с максимумом в марте, а в Африке, и также в Северной и Южной Америке - в августе. Анализ данных обнаружил также существование межгодовой изменчивости лесных пожаров в Индонезии и Центральной Америке, коррелирующей с циклом Эль Ниньо/Южное колебание (ЭНЮК) в 1998-1999 гг. В 1998 г. произошло выгорание бореальных лесов на обширных территориях России и Северной Америки. Пожары охватили территорию площадью около 4.8 млн. га в бореальных лесах Канады и США и 2.1 млн. га в России.

Выявляется отчетливая корреляционная связь между изменчивостью содержания аэрозоля в глобальной атмосфере и упомянутыми вариациями частоты и интенсивности лесных пожаров. Исключение составляет регион Юго-Западной Австралии, где интенсивные пожары, зарегистрированные по данным TRMM, не сопровождалась формированием слоев дыма (по данным TOMS). Если исключить Австралийский регион, то коэффициент корреляции между числом пожаров и АИ (по данным TOMS) составляет 0.55. Статистический анализ данных с помощью расчета эмпирических ортогональных функций (ЭОФ) обнаружил наличие контраста между северным и южным полушариями, а также существование межконтинентального переноса аэрозоля, возникшего в результате пожаров в Африке и Америке. Данные статистического анализа указывают на присутствие 25-60 суточных внутри сезонных вариаций, налагающихся на годовой ход числа пожаров и содержания аэрозоля. Обнаружено сходство внутри сезонной изменчивости числа пожаров и динамики осцилляции Джулиана-Маддена [4].

Как справедливо заметил McConnel [22], до сих пор остается в значительной мере загадкой, почему некоторые леса подверглись фрагментации, деградации и потере видового разнообразия, тогда как другие леса остаются в хорошем состоянии и даже расширяются. Не вызывает сомнений, что рост численности населения, дальнейшее расширение масштабов рыночных отношений и интенсивное развитие разнообразных хозяйственных инфраструктур принадлежат к числу важных факторов наблюдаемого обезлесивания. Противоборствующими этому процессу факторами являются меры по охране природы, способствующие сохранению лесов. В конечном счете, динамика лесного покрова определяется сложной и интерактивной совокупностью таких факторов, как биогеофизические процессы, рост плотности населения, рыночные отношения, различные возмущающие воздействия (включающие лесные пожары) и институциональные микроструктуры.

Лесные пожары воздействуют на формирование глобального круговорота углерода. Действительно, глобальные масштабы лесных пожаров за последние годы стали эквивалентны по площади территории Австралии. В атмосферу выбрасывается почти 40% глобальных выбросов CO<sub>2</sub>. При этом 90% лесных пожаров имеет антропогенное происхождение. Это означает, что естественный баланс природных факторов сильно нарушается, и законы естественной эволюции подвергаются мощному воздействию.

Среди других природных явлений, оказывающих воздействие на динамику окружающей среды, являются извержения вулканов, пылевые бури и грозы. Одним из последствий крупного извержения вулкана является мощное загрязнение атмосферы, что может приводить к изменениям климата в отдельных регионах или даже в глобальном масштабе. Так, в частности, аэрозоли, связанные во многом с выбросами двуокиси серы при извержении вулкана Пинатубо в 1991 г., привели к глобальному понижению температуры в нижней атмосфере в 1992 г. примерно на 0.5°C. Также было замечено, что через два года уровень глобального содержания озона снизился на 4% по сравнению с предшествующим 12-летним периодом. И хотя за последнее столетие не наблюдалось резких изменений климата по причине извержения вулканов, все же в историческом аспекте такие ситуации имели место. Так, 73 500 лет назад, вследствие извержения вулкана Тоба на острове Суматра, глобальная температура атмосферы снижалась на 3-5°C. При этом, площадь ледников возросла, а население Земли снизилось. Так что имеющиеся сейчас на Земле 600 вулканов в принципе могут представлять глобальную угрозу для населения, так как способны серьезно изменить климат и тем самым повлиять на дальнейший ход развития СКБО.

Аналогичную вулканам роль в изменении окружающей среды играют пылевые бури, имеющие место во всех областях Земли, где существует сильный ветер и есть пыль. Распространение пыли простирается на большие расстояния, оказывая негативное воздействие на растительность и почвы, а также вызывая сильное загрязнение нижних слоев атмосферы на длительные периоды времени. В районах с неплотным растительным покровом и засушливым климатом пылевые бури уносят плодородный слой почвы, чем наносят вред растениям. Пылевые бури периодически возникают, например, на равнинах центральных и западных штатов США во время сильных ураганов. Они иногда длятся несколько дней, поднимают пыль до высоты 1,5-1,8 км, а частично на 5-6 км, и переносят ее на сотни и даже тысячи километров, к Атлантическому океану. Именно с разрушением почвенно-растительного покрова в степях и лесостепях, в районах интенсивного сельскохозяйственного освоения и связаны катастрофические феномены пылевых бурь. Наряду с кратковременными воздействиями и видимыми ущербами пылевые бури создают регулярную составляющую глобальной экодинамики, которая может проявляться через десятилетия и даже столетия.

Особую роль в изменении окружающей среды играют грозы. Молниевые разряды, возникающие практически во всех широтах, влияют на протекание фотохимических реакций в атмосфере и являются фактором пожарной опасности. По имеющимся оценкам в любой момент на Земле существует, в среднем, 1800 гроз, каждая из которых сопровождается 200 молниевыми вспышками в час (или 3.3 вспышки в минуту). По спутниковым наблюдениям оценено, что средняя глобальная частота вспышек молний составляет 22-65 вспышек в секунду. Наблюдения со спутника Microlab-1 дали оценку этой величине на уровне 44±5 вспышек в секунду, что соответствует появлению на Земле 1.4 млрд. вспышек в год. Использование данных Microlab-1 позволило построить глобальные карты частоты молниевых разрядов в разное время года. Анализ этих карт показал, что молнии возникают преимущественно над сушей, а среднее соотношение между их числом над сушей и над океаном составляет примерно 10:1. На долю полосы широт 30° с.ш. - 70° ю.ш. приходится около 78% молний. Наиболее интенсивен круглогодичный режим молниевых разрядов в бассейне р. Конго, где средняя частота

вспышек достигает (в Руанде) 80 вспышек на км<sup>2</sup> в год, что соответствует условиям центральной части штата Флорида (США). Круглогодичный интенсивный режим молниевых вспышек характерен для северной части Атлантического океана и западного региона Тихого океана, где под воздействием адвекции холодного воздуха над теплой поверхностью океана возникает неустойчивая атмосфера. Менее часто случаются молнии в восточном секторе тропиков Тихого океана и в Индийском океане, где атмосфера является более теплой. Максимум частоты молний в северном полушарии приходится на лето, тогда как в тропиках имеет место полугодовой цикл молний.

В северных регионах важной составляющей управляющего механизма эволюции являются сильные морозы, влияние которых на растительный покров зависит от выносливости растений. Jönsson и др. [19] на примере Норвежской ели *Picea abies* изучили реакцию бореальных лесов на изменения температуры. Показано, что от резких перепадов температуры изменяется плотность древесины и с ожидаемым изменением климата может произойти смена растительного покрова.

*Проблема глобального потепления и природные катастрофы.* В последние годы в связи с дискуссиями о причинах возможного изменения климата ключевое значение приобретают оценки неопределённости тех оценок, на которые опираются выводы об изменениях климата и мерах по их предотвращению. Особенно важное место занимает задача оценки уровней выбросов парниковых газов в атмосферу, связанная, прежде всего, с решением проблемы глобального круговорота углерода. Очевидно, что без осуществления надёжной верификации имеющихся оценок выбросов все рассуждения относительно экологических выгод различных мер и связанных с этим затрат оказываются абстрактными. Как могут быть, например, обоснованы штрафы за невыполнение рекомендаций по сокращению выбросов парниковых газов, если невозможно доказать, что выбросы в 2012 г. будут отличаться от выбросов в 1990 г.? До сих пор в ходе дискуссий по проблеме Киотского Протокола игнорировались, в частности, количественные оценки неопределённости уровней стоков парниковых газов (особенно это относится к биосфере). Неопределённости оценок суммарных потоков CO<sub>2</sub> являются, однако, очень существенными (в условиях России превосходя 100%). Вычисления погрешностей оценок суммарных потоков парниковых газов привели к значениям в пределах ~ ±5-25%, тогда как предусмотренные Киотским Протоколом уровни сокращения выбросов парниковых газов составляют, в среднем, около 5%. Средне глобальную ситуацию иллюстрирует, например, то обстоятельство, что неопределённости оценок выбросов парниковых газов за счёт систем производства энергии примерно равны неопределёностям оценок усвоения CO<sub>2</sub> биосферой и сушей.

В такого рода ситуации решение проблем неопределённости оценок (в первую очередь речь идёт о достоверной информации о круговоротах углерода) и верификации приобретают особенно важное значение. Решение проблемы верификации требует принятия соглашения о её механизмах, что имеет важное значение также и с финансовой точки зрения. Результаты имитационного моделирования указывают, например, на то, что, если доверительный уровень осуществления сокращения парниковых газов на 5,2% поднять с 50 до 95%, то это повлечёт за собой повышение расходов на меры по сокращению выбросов парниковых газов в 3-4 раза. Главный вывод состоит в том, что наука должна служить компасом для рекомендаций мер в области экологической политики. В этом отношении провал СОП-6 может стать исцеляющим шоком.

Серьёзная неопределённость оценок возможных антропогенно обусловленных изменений климата и определяющих их факторов породила в научной литературе и в средствах массовой информации острую дискуссию по этой проблематике. Так, например, в интервью с журналистом из «Scientific American» Р.Линдзен (профессор Массачусетского политехнического института, США) сообщил, что его обеспокоенность спекулятивными суждениями об изменениях климата началась летом 1988 г., когда Д.Хансен (директор Годдардовского института космических исследований, Нью-Йорк) выступил с публичным заявлением, что на земном шаре происходит потепление климата в результате роста концентрации  $\text{CO}_2$  за счёт выбросов в атмосферу, обусловленных сжиганием ископаемого топлива. Подобное заявление побудило Р.Линдзена к разъяснению того, что наука о климате находится лишь в начальной стадии развития и, в частности, - никакого консенсуса по поводу причин изменения климата не существует. В начале 2001 г. он выступил с докладом на заседании кабинета министров США по проблеме изменений климата. Тот факт, что средне глобальная приземная температура воздуха (ПТВ) повысилась за 100 лет примерно на  $0,5^\circ\text{C}$ , а концентрация  $\text{CO}_2$  в атмосфере увеличилась примерно на 30% отнюдь не отображает причинно-следственной связи между увеличением концентрации  $\text{CO}_2$  и повышением температуры. Р.Линдзен полагает, что наиболее достоверное значение чувствительности климата (повышения ПТВ при удвоении концентрации  $\text{CO}_2$ ) равно  $0,4^\circ\text{C}$ , и это означает отсутствие оснований для беспокойства о катастрофических изменениях глобального климата в будущем.

Согласно мандату ИРСС, поставленная перед ИРСС задача состоит в том, чтобы подготовить обзор «любых изменений климата со временем, как природно обусловленных, так и антропогенных». Однако, по меньшей мере, два климатообразующих фактора оказались либо ненадёжно, либо совсем неучтёнными: 1) влияние на глобальный климат антропогенно обусловленных изменений характеристик поверхности суши; 2) биологические воздействия роста концентрации углекислого газа в атмосфере (включая «эффект фертилизации»). Если справедливо, что оба эти фактора существенны, то придётся сделать вывод, что согласие результатов численного моделирования глобального климата (речь, в действительности, идёт главным образом о средние глобальной среднегодовой приземной температуре воздуха) является случайным.

В этой связи Кондратьев и др. [3] обсудили информацию, подтверждающую существенность обоих упомянутых климатообразующих факторов, и высказали соображения о возможностях проверки обоснованности такого рода вывода. Для подобной проверки могут быть использованы данные о влиянии антропогенно обусловленных изменений характеристик поверхности суши на местный, региональный и глобальный климат, иллюстрирующие тот факт, что это влияние, по крайней мере, столь же важно учитывать, как и воздействие удвоения концентрации  $\text{CO}_2$  в атмосфере (а также роста концентрации других парниковых газов). Не менее существенно то обстоятельство, что взаимодействие атмосферы и подстилающей поверхности характеризуется наличием различных нелинейных обратных связей, и поэтому прогноз изменений климата на сроки продолжительнее сезона может оказаться невозможным.

Что касается возможных биологических воздействий роста концентрации  $\text{CO}_2$ , то они проявляются в форме краткосрочного (биофизического), среднесрочного (биогеохимического) и долговременного (биогеографического) влияния ландшафт образующих процессов на погоду и климат. Биофизическое влияние вклю-

чает, например, воздействие транспирации на соотношение потоков скрытого и явного тепла как компонентов теплового баланса подстилающей поверхности. К числу биогеохимических воздействий относится влияние роста растений («эффект фертилизации») на площадь поверхности листьев, с которой происходит испарение, на альbedo подстилающей поверхности и на запасаение углерода. Одним из проявлений биогеографических воздействий служит изменение видового состава растительных сообществ со временем. Результаты численного моделирования отчётливо свидетельствуют о том, что без учёта биофизических/биогеохимических воздействий оценки изменений климата не могут быть достоверными.

Дальнейшее развитие моделей климата должно содержать, в частности, рассмотрение следующих аспектов формирования климата: 1) прямые и косвенные воздействия динамики ландшафтов через посредство биофизических, биогеохимических и биогеографических процессов; 2) учёт антропогенно обусловленных изменений землепользования в различных (локальных, региональных и глобальных) пространственно-временных масштабах); 3) оценки возможностей прогноза климата с заблаговременностью более сезонной, имея в виду функционирование многочисленных нелинейных обратных связей, определяющих взаимодействие атмосферы и подстилающей поверхности. Нерешённость этих и других задач ограничивает значение отчёта IPCC-2007 и Национального отчёта США как содержащих лишь оценки чувствительности глобального климата к изменениям некоторых климатообразующих факторов.

В ходе продолжительного процесса подготовки уже опубликованных отчётов Межправительственной группы экспертов по проблеме изменений климата осуществлялся всё более полный анализ климатообразующих факторов (так, например, кроме парниковых газов рассматривался атмосферный аэрозоль) и разнообразных обратных связей. Несмотря на это, уже достигшие к настоящему времени очень высокого уровня сложности численные модели климата всё ещё не могут считаться достаточно полными с точки зрения учёта всех существенных климатообразующих факторов. Новым шагом вперёд в отчёте IPCC-2001 был учёт возмущающего воздействия (F) антропогенно обусловленных изменений землепользования на климат, ограниченный, однако, рассмотрением лишь влияния динамики землепользования, начиная с 1750 г., на альbedo подстилающей поверхности. Полученные в связи с этим оценки привели к среднему значению F, равному  $-0,2 \text{ Вт/м}^2$  при интервале неопределённости, составляющем  $0,0 - -0,4 \text{ Вт/м}^2$ . Таким образом, подобные оценки характеризуются высокой степенью неопределённости, причём это касается даже знака F (более полный учёт биофизических, биогеохимических и биогеографических воздействий эволюции природопользования на климат привёл к выводу, что в данном случае  $F > 0$ ).

В этой связи важное значение имеет принятие в отчёте IPCC-2001 нового диапазона возможного глобального потепления к 2100 г. ( $1,4-5,8^\circ\text{C}$ ), обоснование которого опирается только на данные численного моделирования (и поэтому будет неизбежно изменяться в будущем). В отчете IPCC-2007 этот диапазон заменен на  $1,2-4,7^\circ\text{C}$ . Проблема состоит ещё и в том, что новый диапазон не может быть непосредственно сопоставлен с полученными ранее аналогичными оценками. С точки зрения достоверности оценок изменений климата в будущем важное значение имеет использование в отчёте IPCC-2001 термина «проектировки» (projections) вместо «прогнозов» (predictions), поскольку последний означает, что те факторы, которые не приняты во внимание, не окажутся существенными в буду-

шем. Именно неприемлемость последнего предположения является причиной того, что ни один специалист в области численного моделирования не станет утверждать, что возможен прогноз климата с заблаговременностью порядка 100 лет.

Сложность проблемы прогностических оценок климата, особенно выделения вклада антропогенного компонента, иллюстрирует сохраняющаяся противоречивость анализа влияния облаков на климат. Из анализа влияния облачной обратной связи (CF) на формирование годового хода средне глобальной ПТВ с использованием данных спутниковых измерений радиационного баланса Земли (ERB) следует, что средне глобальный годовой ход ПТВ синфазен с годовым ходом ПТВ в северном полушарии, а его амплитуда составляет 3,3 К (подобная синфазность определяется сосредоточением в северном полушарии континентов, вносящих главный вклад в формирование амплитуды годового хода SAT).

Анализ данных наблюдений компонентов ERB за период с февраля 1985 г. по февраль 1990 г. показал, что средние глобальные величины как коротковолнового, так и длинноволнового радиационного возмущающего воздействия (SWRF и LWRF) слабо зависят от годового хода средней глобальной ПТВ (рассмотренные данные по РБЗ относятся лишь к диапазону 60°с.ш.-60°ю.ш.). Таким образом, динамика облачного покрова не порождает ни усиления, ни ослабления годового хода ПТВ. Рассмотренные данные о SWRF и оптических свойствах облаков свидетельствуют о том, что не только альbedo, но также количество и высота верхней границы облаков слабо зависят от ПТВ и, следовательно, CF не оказывает существенного воздействия на годовой ход средне глобальной ПТВ.

На основании такого вывода можно было бы заключить, что воздействия CF на годовой ход средней глобальной ПТВ или на глобальное потепление незначительно. Однако подобное спекулятивное суждение опасно, ввиду большой сложности пространственного поля ПТВ. Расчёты с использованием трёх моделей климата, в которых была интерактивно учтена динамика микрофизических свойств облаков, привели к выводу о значительном увеличении альbedo высоты верхней границы облаков с повышением ПТВ, что не согласуется с данными наблюдений. Подобная ситуация отображает перспективность сравнения оценок роли облачной обратной связи по данным численного моделирования и наблюдений с точки зрения валидации моделей.

*Возможные природные катастрофы в будущем.* Динамика развития СКБО говорит о том, что многообразие природных катастроф в будущем может только расширяться за счет возникновения новых типов катастроф, связанных с расширением областей применения новых технологий. При этом количество антропогенно обусловленных катастроф будет возрастать, несмотря на повышение эффективности систем природного мониторинга. Проблема взаимоотношения природной и антропогенной составляющей в динамике СКБО приобретет многомерный характер в пространстве характеристик воздействия различных типов катастроф на общество. Геологические, климатические, экологические и медицинские разрезы этого пространства будут выглядеть совершенно иначе, чем они воспринимаются населением планеты в современных условиях начала XXI столетия. Это будет связано с изменением ритмичности катастроф и трансформацией понятий реального и субъективного риска.

Ожидается, что природные катастрофы в будущем в основном получат экономическую окраску. К числу ожидаемых уже в XXI столетии катастроф относятся:

- стремительный парниковый эффект за счет положительных обратных связей метана;

- быстрый подъем уровня моря за счет таяния полярных льдов;
- глобальное изменение циркуляции Мирового океана.

Эти геофизические катастрофы могут возникнуть по множеству причин естественного и антропогенного характера. Например, накопленные запасы метана в осадочных материалах, особенно в северных широтах, при потеплении климата могут дестабилизироваться и вызвать резкое повышение его концентрации в атмосфере. Так клатратные соединения, захороненные в вечной мерзлоте до глубин 200 м, находятся в изолированном состоянии именно до момента таяния. Запасенный в таком виде метан при освобождении может повысить парниковый эффект на 25%. Однако, как и в случае  $\text{CO}_2$ , здесь нет однозначного решения, так как освобожденный метан, включившись в глобальный биогеохимический круговорот совместно с другими газами, может быть трансформирован и частично поглощен океаном. Аналогичная неопределенность возникает при оценке последствий освобождения метана из отложений в виде гидратов метана и других газов.

Вопрос о последствиях таяния антарктического льда, запасы которого оцениваются величиной 3,8 млн. км<sup>3</sup>, сводится к оценке масштаба поднятия уровня Мирового океана и перечисления затопляемых территорий на суше. По-видимому такое событие возможно при удвоении содержания  $\text{CO}_2$  в атмосфере. Подъем уровня Мирового океана на 4-7 м за счет таяния льдов Антарктиды и Гренландии, как показывают самые пессимистические сценарии, возможен в ближайшие 200 лет с вероятностью 5%. Даже существующие климатические модели с присущим им несовершенством показывают наличие множества неучтенных факторов, которые могут возникнуть в рамках реализации подобных сценариев и которые могут включить новые и усилить известные обратные связи и стабилизировать климат.

Термохалинная циркуляция Мирового океана является ключевым механизмом глобальной климатической системы. Ее горизонтальные составляющие ответственны почти за половину теплообмена между экваториальными и полярными зонами, а вертикальные компоненты управляют потоками тепла, биогенных элементов и газов, включая  $\text{CO}_2$ , между атмосферой и глубокими слоями океана. Реализация глобального сценария потепления, очевидно, приведет к изменению вертикальных профилей температуры и солености воды, а значит и изменит структуру экологических систем. Следует отметить, что при обсуждении возможных изменений в структуре океанологических полей возникает множество вопросов, разрешение которых при современном уровне знания проблематично. Не очень ясно, какую роль может сыграть инерционность динамики ледового покрова в Северном полушарии в формировании механизмов изменения циркуляции Мирового океана. Также остается большая неопределенность в оценке соответствующей изменчивости циркуляции атмосферы. Все это еще раз подтверждает вывод о том, что изучение глобальной динамики, учитывая геофизические и экологические составляющие, возможно лишь при междисциплинарном подходе с учетом многомерности СКБО. Конечно, использование сценариев антропогенного развития должно оставаться как один из подходов к параметризации некоторых функций СКБО, но спектр этих сценариев должен ограничиваться учетом экономических механизмов ограничения возможных воздействий на окружающую среду.

Рассмотрение возможных природных катастроф в будущем при имеющихся прогнозах развития общества имеет важное значение для осмысливания его стратегии при взаимодействии с природой. Ведь человек, как элемент биосферы, не-

избежно станет объектом биофизических катастроф с печальными последствиями и может быть необратимыми результатами. Поэтому, изучая глобальную экологию и создавая сценарии развития, необходимо учитывать многомерность СКБО и не забывать о существовании метки на шкале выживания, за пределами которой существование человека становится проблематичным.

В будущем характер природных катастроф может измениться за счет воздействия новых технологий на процессы в окружающей среде. Фактически могут возникнуть катастрофы другого поколения, связанные с трансформацией механизмов биологической регуляции в экосистемах. Поэтому перед теорией катастроф и риска встают принципиально новые задачи предвидения направлений развития цивилизации. Современные социологи и философы при обсуждении глобальной динамики в отличие от специалистов точных наук вместо понятий "информационное общество" или "техносфера" и "ноосфера" используют концепцию "общества риска". Защищенность общества по отношению к природным катастрофам будет убывать по причине расширения спектра опасностей и их возможных масштабов, несмотря на развитие наук и промышленности. Поэтому в будущем развитие теории риска во многом будет определяться политическими решениями. Это, в первую очередь, будет связано с предвидением новых рисков, что возможно при более полном использовании естественнонаучной компоненты СПО для сокращения уровня опасности и предотвращения тенденций к появлению критических ситуаций в окружающей среде с серьезными последствиями для общества.

*Оценки реализации некоторых сценариев.* После трагедии в Азии, произошедшей по причине землетрясения 26 декабря 2004 г. мощностью 9 баллов по шкале Рихтера в районе северо-западного окончания острова Суматра, вопрос о прогнозировании чрезвычайных природных явлений резко обострился. Ясно, что современная геофизическая наука может лишь комментировать причины землетрясений и указывать на различные гипотезы, пытаясь объяснить их подвижками в земной коре. Пожалуй, самой сложной задачей современной науки является именно прогнозирование землетрясений. Несмотря на наличие специализированных центров, фиксирующих ничтожные колебания земной коры, успехов научного сообщества в изучении закономерностей развития Земли как планеты пока мало. Тем не менее, определенные успехи в прогнозировании других типов природных катастроф имеются благодаря развитию теории климата и глобальной экодинамики. Но все оценки и прогнозы возможны лишь в условиях определенных сценариев климата и стратегий развития человечества. Поэтому важно, чтобы эти сценарии формировались на основе учета преемственности СКБО.

Одним из возможных подходов к прогнозированию землетрясений и извержений вулканов является использование статистики этих природных катастроф в качестве входной информации ГМСПО. Наличие блока прогнозирования случайных числовых рядов с помощью метода эволюционного моделирования позволяет получать оценки времени появления следующего события с некоторой вероятностью. В результате применение такого подхода дает следующие оценки. В ближайшие 20 лет следует ожидать в среднем ежегодно 2-3 землетрясения мощностью более 7,0 баллов и 4-5 землетрясений от 5,0 до 7,0 баллов по шкале Рихтера. Что касается извержения вулканов, то ГМСПО предсказывает 5 событий до 2020 г.

Прогнозирование других типов природных катастроф с помощью ГМСКО становится возможным благодаря учету в модели совокупности прямых и обрат-

ных связей в системе *биосфера-климат*. Для реализации таких прогнозов требуется задать сценарий возможного развития процессов взаимодействия общества с окружающей средой. Многообразие таких сценариев усложняет задачу, хотя и здесь применение эволюционной технологии позволяет выявить наиболее вероятные тенденции в этом взаимодействии. Рассмотрим некоторые ситуации, которые могут возникнуть при реализации сценариев SRES [16]. Наиболее пессимистические сценарии A1G MiniCAM и A2 ASF приводят к повышению парциального давления CO<sub>2</sub> в атмосфере к 2020 г. до 390-410 ppm и к 2100 г. до 520-550 ppm. Как результат снижается pH верхнего слоя океанов, особенно его прибрежных акваторий, что приводит к изменениям в трофических отношениях между элементами экосистем. Характерным примером является экосистема Перуанского апвеллинга, трофическая пирамида которой в стандартных условиях характеризуется пространственной бинарностью. Кривые рис. 1 и 2 показывают состояние выживаемости этой экосистемы, оцениваемое по критерию:

$$v(t) = \frac{\sum_{i=1}^m B_i(t)}{\sum_{i=1}^m B_i(t_0)},$$

где  $m$  - количество трофических уровней,  $t_0=1999$  г.,  $B_i(t)$  - суммарная биомасса  $i$ -го трофического уровня на акватории. При этом предполагается, что минимальные не потребляемые другими уровнями концентрации биомассы элементов составляют 10% от их начальных значений.

Из рис. 1 видна реакция системы на повышение температуры верхнего слоя воды. Расчеты показывают, что безопасными для системы являются повышения температуры в пределах до 0,4°C, а при больших изменениях система изменяет фазовое состояние. В последнем случае исчезает эффект пространственной бинарности трофической пирамиды и система вступает в фазу неустойчивого функционирования. Вообще ГМСПО позволяет изучить поведение наземных и морских экосистем при реализации различных сценариев. При реализации сценариев A1T (ежегодные выбросы некоторых парниковых газов к 2100 г. могут достичь следующих уровней: CO<sub>2</sub> – 4,3-9,1 ГтС; CH<sub>4</sub> – 274-291 МтСН<sub>4</sub>; N<sub>2</sub>O – 4,8-5,4 МтN; CO – 1520-2077 МтCO; NO<sub>x</sub> – 28,1-39,9 МтN; SO<sub>x</sub> – 20,2-27,4 МтS) и B1 (CO<sub>2</sub> – 4,2 ГтС; CH<sub>4</sub> – 236 МтСН<sub>4</sub>; N<sub>2</sub>O – 5,7 МтN; CO – 363 МтCO; NO<sub>x</sub> – 18,7 МтN; SO<sub>x</sub> – 24,9 МтS) климатическая обстановка на акватории Перуанского апвеллинга не претерпевает существенных изменений и экосистема функционирует в режиме бинарной смены трофических структур в прибрежной зоне между периодами Эль-Ниньо. В случае реализации сценариев B2 (CO<sub>2</sub> – 13,3 ГтС; CH<sub>4</sub> – 597 МтСН<sub>4</sub>; N<sub>2</sub>O – 6,9 МтN; CO – 2002 МтCO; NO<sub>x</sub> – 61,2 МтN; SO<sub>x</sub> – 7,9 МтS) и A1 AIM (стоимость топлив к 2100 г. достигнет следующих уровней: уголь – 2,8-3,1 доллар/10<sup>9</sup> Дж.; природный газ – 1,4-4,6 долларов/10<sup>9</sup> Дж.; нефть – 14,9-15,7 долларов/10<sup>9</sup> Дж.; ядерная энергия – 2,3-2,5 центов/кВт-час; энергия ветра, солнца и геотермальных источников – 2,0-2,7 центов/кВт-час) появляются периоды длительного повышения температуры верхнего слоя, что вызывает некоторое разбалансирование энергетических потоков в экосистеме, но в целом ее устойчивость сохраняется. В третьем случае, когда включаются сценарии A1G MiniCAM или A2 ASF экосистема устойчиво начинает перемещаться в другое состояние, характеризующееся длительными сокращениями суммарной биомассы. Дополнительные эксперименты показывают, что значительные колебания температуры

воды принципиально изменяют состояние экосистемы. Фазовые траектории экосистемы образуют квазипериодические структуры типа стоячих волн со смещением центра масс в направлении уменьшения  $v(t)$ . Повышение температуры более чем на  $5^{\circ}\text{C}$  экосистема способна преодолеть не дольше 190 суток. Колебания концентрации растворенного кислорода, уменьшающейся с возрастанием температуры, не должны выходить за пределы  $0,2$  мл/л более чем на 100 суток, а скорость вертикальной адвекции не может принимать значения меньше  $0,5 \cdot 10^{-4}$  см/сек. В целом, эксперименты по оценке живучести экосистемы Перуанского апвеллинга показывают, что при долговременных медленных изменениях внешних условий сообщество перестраивает структуру и интенсивность энергетических потоков между трофическими уровнями. Одним из факторов высокой устойчивости экосистемы является вертикальное смещение биомасс компонентов экосистемы, что позволяет сохранять фазовый портрет сообщества длительное время даже при значительных изменениях параметров окружающей среды, как, например, при реализации сценария A2 ASF.

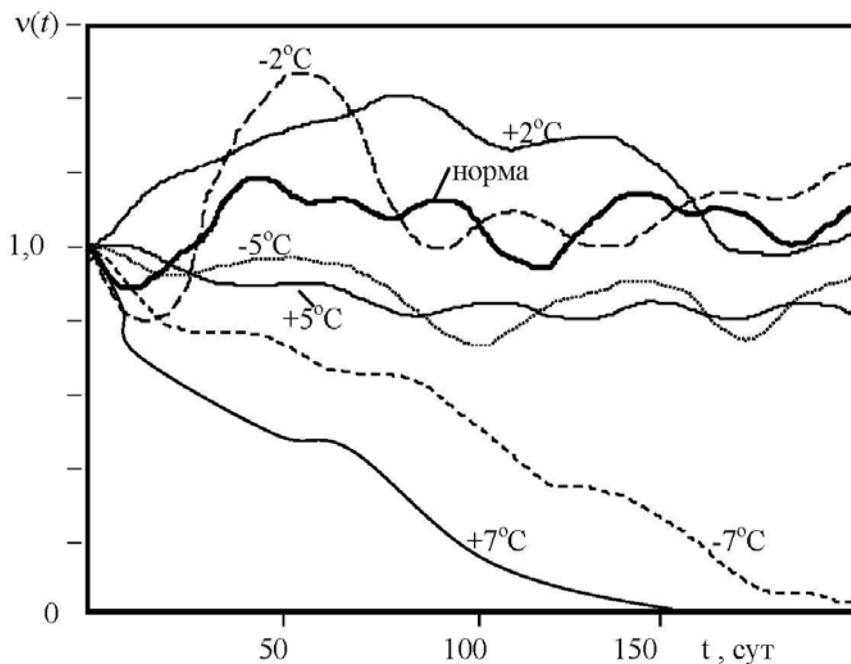


Рис. 1. Оценка выживаемости экосистемы Перуанского апвеллинга при колебаниях температуры воды по всей глубине.

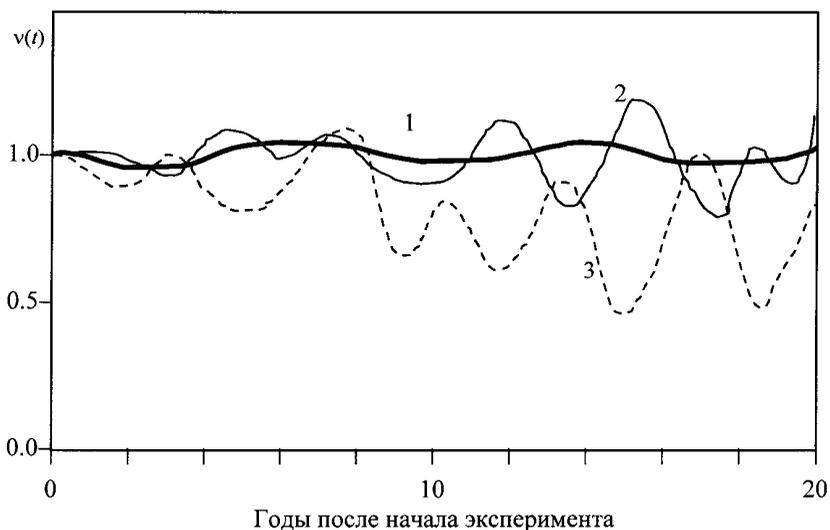


Рис. 2. Оценка выживаемости экосистемы Перуанского апвеллинга при различных сценариях глобальной экодинамики. Обозначения сценариев: 1- A1T MESSAGE, 2 - A1 AIM, 3 - A2 ASF [1].

Изучение глобальной экодинамики требует, как видно из проведенных многими авторами исследований, развития математического аппарата с одновременной ориентацией на междисциплинарные потребности биологии, геофизики, экономики, социологии, климатологии и биоценологии. ГМСКБО лишь частично отвечает требованиям такой междисциплинарности. Одним из ее аспектов является возможность изучения процессов взаимодействия природных и антропогенных факторов в рамках широкого спектра учитываемых прямых и обратных связей между компонентами СКБО. Принципиальная нелинейность параметрических представлений этих связей усложняет процесс анализа закономерностей глобальной экодинамики и ставит дополнительные задачи оценки многочисленных параметров с учетом их зависимости от времени и пространственных координат. Поэтому достоверность полученных здесь оценок и прогнозов следует рассматривать в зависимости от точности принимавшихся предположений и сценариев.

Одним из возможных прогнозов, которые можно получить с помощью ГМСКБО, является оценка изменчивости компонентов глобального водного баланса. Приняв за основу сценарий IPCC IS92a, предусматривающий рост численности населения к 2100 г. до 11 млрд. чел., получаем, что к 2020 г. будут наблюдаться повышенные нормы осадков на северо-западе Европы, что станет причиной сокращения потока атмосферной влаги с европейского континента на Америку примерно на  $400 \text{ км}^3 \text{сут}^{-1}$ . В остальных регионах изменения влагооборота будут колебаться в пределах  $\pm 7\%$  с постепенным нарастанием амплитуды к 2100г. В результате к концу столетия возрастанием осадков будут характеризоваться районы тихоокеанского побережья США, северо-востока Индии, юго-запада Китая, а зона высоких осадков в Европе расширится на север. Следовательно, наводнения в этих регионах станут более частыми. Одновременно с этим умень-

шится количество осадков на восточном побережье Северной Америки, в странах Средней Азии и Ближнего Востока, а также изменится режим контрастности смены дождливого и сухого сезонов в Юго-Восточной Азии. Для Европейского континента отрицательным моментом будет заметное снижение осадков в Греции, Италии и на Кавказе. В центральной Европе режим осадков изменится не более чем на 3%.

ГМСКБО позволяет оценить также и ожидаемые риски от возможного парникового эффекта. Пример таких оценок дан на рис. 3. Очевидно, что сопоставление результатов прогнозов изменения температуры, полученных с помощью климатической модели Hadley Centre и ГМСКБО, показывает эффективность ГИМС-технологии и говорит о необходимости дальнейшей модернизации ГМСКБО по пути расширения ее блоков, особенно связанных с параметризацией интерактивных механизмов регуляции климата [2].

### Заключительные замечания

Lomborg [21] несомненно прав, отвергая апокалиптические прогнозы глобальной экодинамики, опирающиеся на преувеличенные опасения по поводу ограниченности природных ресурсов и состояния окружающей среды. Подобные суждения и оценки подтверждают, в частности, данные табл. 2, характеризующей реальные и потенциальные глобальные ресурсы энергии. Здесь единицы энергии выражены (в случае невозобновляемых источников энергии) в тераватт-годах (ТВтг), что эквивалентно 31 экзаджоулей, ( $1 \text{ ТВт} = 1 \text{ ТВтг/год} = 31,5 \text{ экзаджоулей/год}$ ). К этому следует добавить, что в 2000 г. глобальное энергопотребление составляло около 15 ТВт или 15 ТВтг/год при предполагаемом возрастании до 60 ТВтг/год к 2100 г.

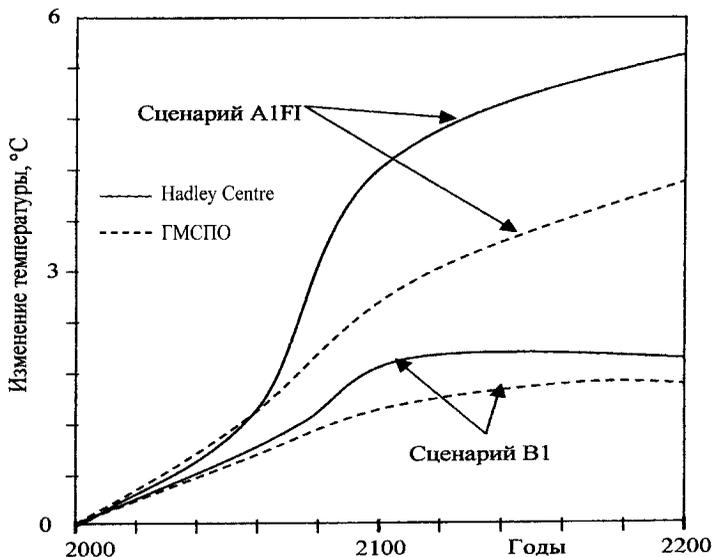


Рис. 3. Прогнозы изменения средней глобальной температуры, полученные с применением климатической модели Hadley Centre и ГМСКО в рамках двух сценариев использования энергии.

## Глобальные ресурсы энергии.

<b>Невозобновляемые ресурсы (ТВтг)</b>	
Обычные нефть и природный газ	1000
Нестандартные нефть и газ, за исключением кластеров метана	2000
Кластеры метана	20 000
Сланцы	30 000
Геотермальные источники:	
- пар и горячая вода	4000
- горячие сухие горных погоды	1 000 000
Уран:	
- в реакторах с легкой водой	3000
- в бродерных реакторах	3 000 000
Термоядерная энергия:	
- дейтерий-тритий, ограниченные литием	140 000 000
- дейтерий-дейтерий	250 000 000 000
<b>Возобновляемые ресурсы (ТВтг/год)</b>	
Гидроэнергетика	15
Использование биомассы	100
Энергия ветра	2000
Солнечная энергия	
- на поверхности суши	26 000
- на всей поверхности Земли	88 000

Несмотря на оптимистические данные табл. 2, не вызывает сомнений отсутствие долговременных перспектив развития современного общества потребления, иллюстрируемое оценками глобальной экодинамики. Именно поэтому на Всемирном саммите по устойчивому развитию, который состоялся в 2002 г. в Йоханнесбурге, была подчеркнута необходимость осуществления рассчитанных на 10 лет программ достижения устойчивого производства и потребления, включающих следующие рекомендации:

- Принятие промышленно развитыми странами на себя ведущей роли в обеспечении устойчивого производства и потребления.
  - Достижение этих целей на основе общей, но дифференцированной ответственности.
  - Придание ключевой роли проблеме устойчивого производства и потребления.
  - Обеспечение особого внимания к участию молодого поколения в решении задач устойчивого развития.
  - Применение принципа «загрязнитель платит».
  - Контроль полного цикла эволюции продукции от ее производства до потребления и отходов с целью повышения эффективности производства.
  - Поддержка политики, способствующей выпуску экологически приемлемой продукции и осуществлению экологически адекватных услуг.
  - Разработка более экологических и эффективных методов энергообеспечения.
- Исключение энергетических субсидий.

- Поддержка добровольных инициатив промышленности в целях повышения ее социальной и экологической ответственности.

- Изучение и внедрение опыта экологически чистых производств, особенно в развивающихся странах, а также в малом и среднем бизнесе.

Хотя перечисленные рекомендации весьма декларативны, они все же отчетливо ориентируют на необходимость смены парадигмы социально-экономического развития (прежде всего это относится к промышленно развитым странам) в сторону от общества потребления к приоритетам общественных и духовных ценностей. Конкретный анализ путей подобного развития требует участия специалистов в области общественных наук. Некоторые соображения в связи с этим были высказаны во Введении в контексте проблематики Хартии Земли. Поэтому вопрос о том, может ли человек изменить климат, остается вопросом, требующим дальнейших исследований.

Наконец следует сделать предварительные выводы, которые вытекают из сказанного выше:

- Существующие климатические модели не пригодны для принятия решений и оценки риска реализации антропогенных сценариев.

- Снижение уровня неопределенности прогнозов климата возможно за счет расширенного учета в глобальных моделях интерактивных взаимодействий в системе *Природа-Общество* и механизмов биотической регуляции окружающей среды, а также совершенствования глобальной системы мониторинга.

- Использование углеводородных источников энергии в 21-м столетии не приведет к катастрофическому изменению климата при сохранении земных покровов и защите Мирового океана от загрязнения.

### Литература

1. Бондур В.Г., Крапивин В.Ф., Савиных В.П. Мониторинг и прогнозирование природных катастроф. -М.: Научный мир.- 2009. -691 с.

2. Бурков В.Д., Крапивин В.Ф. ГИМС-технология в мониторинге растительных покровов. Лесной вестник, 2005, №4(40), с. 117-121.

3. Кондратьев К.Я., Крапивин В.Ф., Лакаса Х, Савиных В.П. Глобализация и устойчивое развитие. Санкт-Петербург: Наука. – 2006. - 242 с.

4. Кондратьев К.Я., Григорьев Ал. А. Лесные пожары как компонент глобальной экодинамики // Оптика атмосферы и океана. – 2004. - Том. 136, № 4. - С. 279-292.

5. Кондратьев К.Я., Крапивин В.Ф., Савиных В.П. (2003). Перспективы развития цивилизации: многомерный анализ. – М.: Логос. – 2003. - 574 с.

6. Кондратьев К.Я., Крапивин В.Ф. Радиационный баланс Земли как индикатор глобального экологического равновесия // Исследование Земли из космоса. - 2006. - № 1. – С. 3-9.

7. Крапивин В.Ф., Потапов И.И. Технология обнаружения и диагностики зарождения тропических ураганов средствами радиозондирования и математического моделирования // Пробл. окружающей среды и природных ресурсов. - 2006, №12. - С.19-28.

8.. Крапивин В.Ф., Потапов И.И., Солдатов В.Ю. Климат, природа, общество. - Берлин: Lap-Lambert Academic Publishing, 2017. 384 pp.

9. Потапо И.И., Назарян А.Н., Солдатов В.Ю. Методы интерферометрии в задачах оценки геоопасности // Экологические системы и приборы. – 2007. - № 12. - С. 43-47.

10. Потапов И.И., Назарян А.Н., Солдатов В.Ю. Предсказание землетрясений с помощью методов технологии InSAR // Экологические системы и приборы. – 2008. - № 1. - С. 60-62

11. Соложенцев Е.Д. Сценарное логико-вероятностное управление риском в бизнесе и технике // Санкт-Петербург: Издательский дом "Бизнес-Пресса", 2004. - 416 с.

12. Чурин Г.Ю. Правовые механизмы перехода общества к устойчивому развитию на глобальном и региональном уровнях // Материалы международной научно-практической конференции "Устойчивое развитие и экологический менеджмент", Санкт-Петербург, 17-18 ноября 2005 г. - С. 369-372.

13. Burgman M. Risks and Decisions for Conservation and Environmental Management // Cambridge: Cambridge University Press, 2005. - 488 pp.

14. Callinicos A. Against the Third Way // London: Polity Press, 2001. - 160 pp.

15. Condie K.C. Earth as an Evolving Planetary System // Burlington, M.A.: Elsevier Academic, 2005. - 461 pp.

16. Edmonds J., Joos F., Nakicenovic N. et al. Scenarios, Targets, Gaps, and Costs. // In: C.B. Field and M.R. Raupach (eds.). Global Carbon Cycle: Integrating Humans, Climate, and the Natural World. Washington: Island Press, 2004. - Pp. 77-102.

17. Grossi P., Kunreuther H. Catastrophe Modeling: A New Approach to Managing Risk // New York: Springer, 2005. - Vol. 25. - 252 pp.

18. Ji Y., Stocker E. Seasonal, intraseasonal, and interannual variability of global land fires and their effects on atmospheric aerosol distribution // J. Geophys. Res. D. – 2005. - Vol. 107, No. 23. - Pp. ACH10/1-ACY10/11.

19. Jönsson A.M., Linderson M.-L., Stjernquist I. Climate change and the effect of temperature backlashes causing frost damage in *Picea abies* // Global and Planetary Change. – 2004. - Vol. 44, No. 1-4. - Pp.195-207.

20. Lindsey B. Against the Dead Hand: The Uncertain Struggle for Global Capitalism // New York: John Wiley & Sons, 2001. - 368 pp.

21. Lomborg B. (ed.). Global Crisis, Global Solutions // Cambridge: Cambridge Univ. Press, 2004. - 670 pp.

22. McConnel W.J. Forest cover change - tales of the unexpected // Global Change Newsletter. – 2004. - Vol. 57. - Pp. 8-11.