

## Введение

Мониторинг и прогнозирование природных катастроф является одной из актуальных проблем современной науки об окружающей среде (Лаверов, 2007; Владимиров и др., 2002; Воробьев и др., 1997; Данилов-Данильян, Лосев, 2000; Марчук, Кондратьев, 1992; Осипов и др., 2001; Савин, Бондур, 2000). Природные катастрофы на всем протяжении истории приводят к большим, а иногда и колоссальным, человеческим и экономическим потерям. Поэтому во все времена, а тем более сейчас, решению проблемы прогнозирования природных катастроф уделяется особое внимание. С этой целью создаются специализированные исследовательские центры, разрабатываются и создаются сложные системы наблюдения за изменениями в окружающей природной среде, в том числе аэрокосмические, выдвигаются разнообразные проекты и идеи о предотвращении негативных последствий природных катастроф. Известно, что в историческом плане природные аномалии различного пространственного и временного масштабов играли существенную роль в эволюции природы, вызывая и активизируя механизмы регуляции природных систем. С развитием промышленности и возрастанием плотности населения эти механизмы претерпели значительные изменения и приобрели угрожающий характер. Это связано, в первую очередь, с нарастанием и распространением амплитуды антропогенных возмущений в окружающей среде. Многочисленные исследования возникающих здесь проблем, проведенные за прошедшие десятилетия, показали, что частота катастрофических явлений в природе и их масштабность непрерывно нарастают, приводя к возрастанию риска гибели людей, а также к нарушению социальной инфраструктуры и большим экономическим потерям (Лаверов, 2007; Воробьев, 2007; Munich Re, 1998; Ruck, 2003; Topics Geo, 2006, 2007, 2008).

Масштабы ущерба от природных катастроф во многом зависят от готовности территорий к сокращению риска потерь и существенно изменяются во времени. Наибольший ущерб вызывают такие катастрофы, как наводнения и ураганы (Berz, 1998; Dickie, 1995; Enz, 2006; Enz et al., 2008). Неоднородно также распределение катастроф и в пространстве. В целом процентное распределение природных катастроф по их типам характеризуется следующими показателями: тропические штормы и ураганы — 32 %, наводнения — 32 %, землетрясения — 12 %, засухи — 10 % и на долю других приходится 14 %. Распределение по континентам следующее: Азия — 38 %, Америка — 26 %, Африка — 14 %, Европа — 14 % и Океания — 8 % (Кондратьев, Крапивин, 2006; Enz et al., 2008; Zanetti et al., 2007; Wright, Erickson, 2003; White, 1974).

Природные катастрофы в общепринятом определении делятся на категории.

К крупным масштабным катастрофам относятся явления в окружающей среде, приводящие к гибели тысяч людей и разрушению жилищ с существенным для данного региона экономическим ущербом. Отсюда, очевидно, следует, что шкала масштабности природных катастроф зависит от уровня экономического развития региона, определяющего степень защищенности населения от катастрофических природных

Введение  
явлений. Поэтому изучение феноменов, связанных с природными катастрофами, должно сопровождаться анализом уровня бедности населения данного региона. Результаты исследований, накопленные за последние 25 лет, показывают, что в слабо развитых странах зависимость потерь от природных катастроф существенно выше, чем в экономически развитых регионах. Если учесть, что за последнее десятилетие число и масштабность природных катастроф возросли примерно в 5 раз, а их опасность — в 9 раз, то становится ясным, какие угрозы ожидают население этих

стран в ближайшем будущем. В связи с этим решение задач прогноза и предупреждения кризисных явлений в целом по земному шару должно быть предметом озабоченности всех стран независимо от их экономического развития. Для решения этой актуальной задачи необходимо создание эффективных методов, технологий и систем мониторинга, все более важную роль среди которых играют аэрокосмические системы (Бондур, 2007; Савин, Бондур, 2000).

Теория катастроф хорошо разработана в математике. Но ее применение к описанию событий и процессов в реальном окружающем пространстве требует использования методов системного анализа для синтеза глобальной модели системы природа-общество (СПО) с привлечением технических средств мониторинга, и прежде всего космического. Решением возникающих при этом проблем занимается экоинформатика, которая обеспечивает совмещение аналитических простых, полуэмпирических и сложных нелинейных моделей экосистем с обновляемыми глобальными базами данных. Многие международные и национальные программы изучения окружающей среды, имея определенную проблемную и пространственную ориентацию, в последнее время повысили уровень тематической координации, чтобы достичь необходимого уровня эффективности. Примером такой координации могут являться программы типа Global Carbon Project (GCP), Earth Observing System (EOS), работы по созданию глобальной системы наблюдения Земли (ГСНЗ) и многие другие, в рамках которых сосредоточены наиболее эффективные информационные и технические средства оценки и прогнозирования динамических характеристик СПО.

Развитие эффективных методов прогнозирования природных катастроф требует решения ряда проблем, таких как:

- Адаптация методов экоинформатики применительно к проблеме диагностики и прогнозирования природных катастроф во всем их многообразии и масштабности.
- Формирование статистических характеристик природных катастроф в их историческом аспекте, выделяя категории и определяя пространственные и временные масштабы катастрофических изменений среды обитания живых существ. Анализ исторического катастрофизма важен для понимания современных зависимостей между кризисами в природе и обществе. Статистические характеристики природных катастроф в их динамике позволяют сформулировать базовые положения математической теории катастроф и определить приоритетные направления исследований.
- Развитие концепции и синтез модели живучести с целью ее использования для оценки влияния природных катастроф на среду обитания человека.
- Изучение закономерностей взаимодействия различных элементов и процессов в глобальной СПО во взаимосвязи с таким емким понятием, как биоло-

Введение  
гическая сложность экосистем (биосложность), рассматриваемой как функция биологических, физических, химических, социальных и поведенческих взаимодействий подсистем окружающей среды, включая живые организмы и их сообщества. Понятие биосложности связывается с закономерностями функционирования биосферы как единства образующих ее экосистем и природно-хозяйственных систем различного масштаба (от локального до глобального). В связи с этим необходимо дать совместное формализованное описание биологических, геохимических, геофизических и антропогенных факторов и процессов, происходящих на данном уровне пространственно-временной иерархии шкал и масштабов, оценить возможность использования биосложности в виде индикатора приближения природной катастрофы.

- Исследование взаимосвязи между живучестью, биосложностью и эволюцией СПО с привлечением технологии глобального моделирования. Создание блоков глобальной модели, описывающих закономерности и тенденции в окружающей среде, которые приводят к возникновению стрессовых ситуаций и инициируются хозяйственной или политической активностью человека.
- Рассмотрение демографических предпосылок возникновения природных катастроф и выявление механизмов регуляции природной среды, препятствующих реализации этих предпосылок.
- Оценка информативности существующих методов и технических средств сбора и обработки информации о состоянии подсистем СПО и имеющихся глобальных баз данных, а также определение их места в решении задач оценки условий возникновения стрессовых ситуаций в окружающей среде.

Предлагаемая монография излагает и развивает методы экоинформатики применительно к проблеме диагностики и прогнозирования природных катастроф во всем их многообразии и масштабности.

Материал книги изложен в восьми главах. В первой главе рассматриваются статистические характеристики природных катастроф в их историческом аспекте, выделяются категории и определяются пространственные и временные масштабы катастрофических изменений среды обитания живых существ. Анализ исторического катастрофизма важен для понимания современных зависимостей между кризисами в природе и обществе. Статистические характеристики природных катастроф в их динамике позволяют сформулировать базовые положения математической теории катастроф и определить приоритетные направления исследований.

Предмет второй главы связан с понятием живучести экосистем. Излагается концепция строится модель живучести, которая используется для оценки влияния природных катастроф на среду обитания человека. Взаимодействие природы и человеческого общества параметризуется в терминах математической теории игр. Учитывая условность разделения природы и общества, вводятся понятия их стратегии, цели и поведения. В зависимости от соотношения этих категорий изучаются различные варианты модели живучести и определяются критические характеристики для выживания человека как элемента СПО.

Взаимосвязь между живучестью, биосложностью и эволюцией системы природа-общество изучается в третьей главе с привлечением технологии имитационного

Введение  
моделирования. Строятся блоки глобальной модели, описывающие закономерности и тенденции в окружающей среде, приводящие к возникновению стрессовых ситуаций и инициируемые хозяйственной или политической активностью человека. Рассматриваются демографические предпосылки возникновения природных катастроф и анализируются механизмы регуляции природной среды, препятствующие реализации этих предпосылок. В качестве основной причины, дестабилизирующей динамику системы природа-общество, выдвигается и изучается явление глобализации антропогенных процессов, связанное с ускоряющимся развитием мегаполисов и других кризисно насыщенных образований. Экологическое состояние таких территорий оценивается с применением индексов заселенности и экономической развитости.

Четвертая глава посвящена рассмотрению проблемы взаимодействия различных элементов и процессов в глобальной системе природа-общество во взаимосвязи с таким емким понятием, как биосложность. Биосложность оценивается по шкале, характеризующей структурную и функциональную сложность прямых и обратных связей в системе. Показано, что биосложность является возможным индикатором

приближения природной катастрофы.

Пятая глава описывает современные информационные средства мониторинга для обеспечения данными процесса изучения состояния систем окружающей среды. Дается краткий анализ имеющихся глобальных баз данных и указывается их место в решении задач оценки условий возникновения стрессовых ситуаций в окружающей среде. Рассматривается важная проблема синтеза информационно-поисковых систем мониторинга, обладающих функциями обнаружения и предупреждения аномалий в природных системах и имеющих экспертный уровень реализации.

Шестая глава развивает методики, алгоритмы, модели и другие элементы информационных технологий для прогнозирования природных катастроф. С этой целью создается глобальная пространственно неоднородная модель функционирования системы природа-общество, которая интегрирует накопленные знания и данные об окружающей среде и обеспечивает компьютерный инструментарий для прогнозной оценки моментов возникновения и тенденций развития стрессовых состояний в различных ее сечениях. Особое внимание уделяется развитию и распространению катастрофических волновых процессов в глобальных биогеохимических круговоротах парниковых газов и водном балансе биосферы.

В седьмой главе в качестве примера демонстрируются возможности методов экоиформатики при анализе состояния и прогнозировании одной из глобальных природных катастроф в зоне влияния Аральского и Каспийского морей. Дан пример стратегии — сценария, реализация которого может предотвратить развитие этой катастрофы.

Заключительная восьмая глава анализирует соотношение между некоторыми типами природных явлений и процессами формирования глобальных изменений в биосфере и климатической системе. Оценивается роль лесных пожаров и молний в изменении состава атмосферы. Рассматривается множество гипотетических сценариев возможных воздействий на окружающую среду, приводящих к резкому изменению направленности глобальной экодинамики.

В целом книга продолжает развитие предложенных ранее авторами подходов к изучению динамики глобальной системы природа-общество, обращая осо-

**Введение**

бое внимание на задачи оценки, обнаружения, предотвращения и прогнозирования природных катастроф как естественного происхождения, так и антропогенно инициированных. Основным смысл предлагаемого подхода состоит в совместном использовании технологий математического моделирования и глобального мониторинга при интеграции в созданную систему знаний из различных наук, так или иначе определяющих функционирование системы природа-общество.

Книга будет полезна специалистам в области мониторинга окружающей среды, изучения изменений климата, исследования взаимоотношений человеческого общества и природы, геополитики, международных отношений и методологии междисциплинарных исследований. Особый интерес она может представлять для разработчиков и пользователей информационных технологий мониторинга в сфере охраны населения от катастрофических природных явлений.