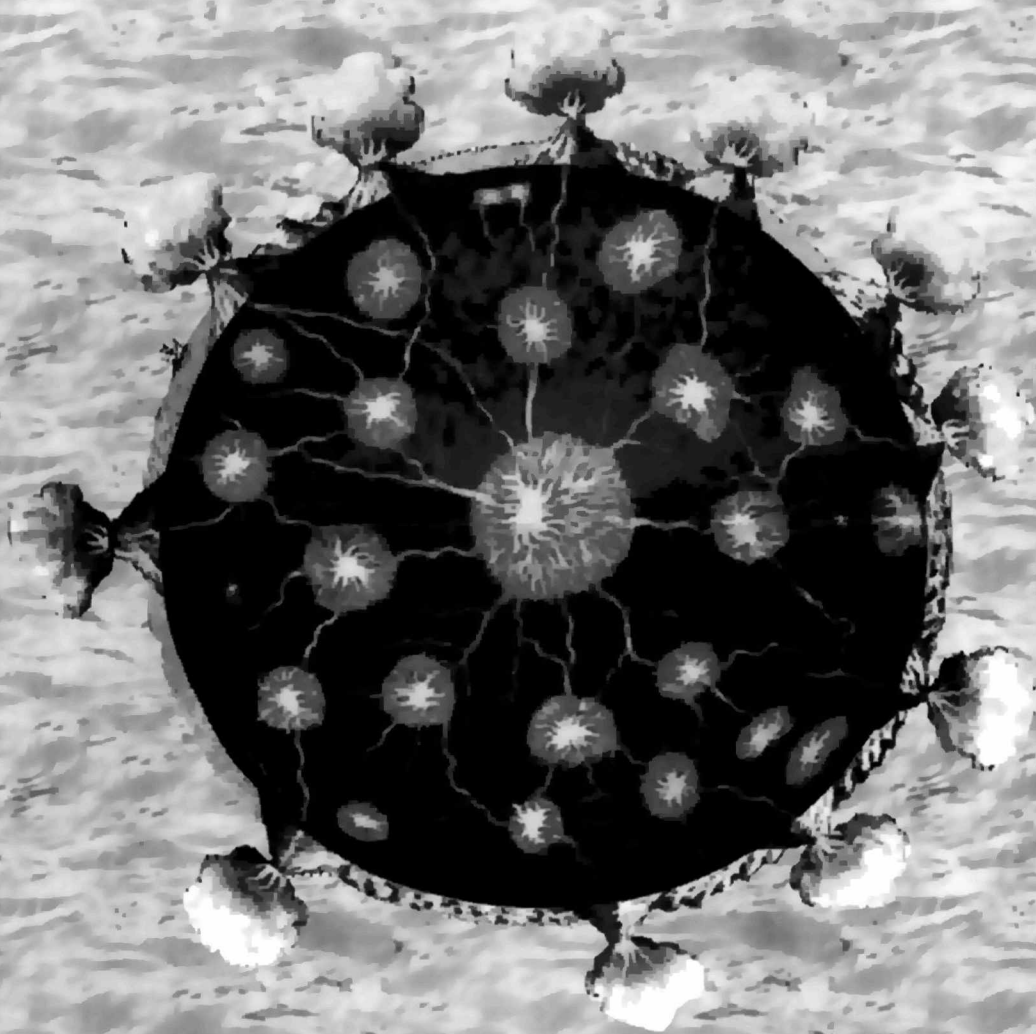


И.Русин



СТИХИЙНЫЕ БЕДСТВИЯ
И ВОЗМОЖНОСТИ
ИХ ПРОГНОЗА



И.Н. Русин

СТИХИЙНЫЕ БЕДСТВИЯ И ВОЗМОЖНОСТИ ИХ ПРОГНОЗА

*Рекомендовано Учебно-методическим объединением по образованию
в области гидрометеорологии в качестве учебного пособия
для студентов высших учебных заведений, обучающихся
по направлению "Гидрометеорология" и специальности "Метеорология"*



Санкт-Петербург
2003



Русин И.Н. Стихийные бедствия и возможности их прогноза. Учебное пособие. – СПб., изд. РГГМУ, 2003 – 140 с.

Учебное пособие написано в соответствии с программой дисциплины "Прогноз стихийных бедствий".

Приведен перечень и даны основные характеристики опасных явлений природы, которые способны приводить к возникновению природных катастроф и стихийных бедствий. Обычно эти явления детально изучаются в разных геофизических науках, но они должны быть известны специалисту, занимающемуся гидрометеорологическим обеспечением хозяйственной деятельности. Освещены общие идеи сравнения масштабов природных катастроф и стихийных бедствий и очерчен круг подходов, лежащих в основе построения современных методов их прогноза.

Учебное пособие предназначено для студентов и специалистов различных геофизических и гидрометеорологических специальностей.

Рецензенты: кафедра климатологии факультета географии и геоэкологии СПбГУ; Н.В. Кобышева, заслуженный деятель науки, д-р геогр. наук, отдел климатологии ГГО им. А.И. Воейкова.

Rusin I.N. Natural disasters and outlooks for their forecasting. A manual. – St. Petersburg, RSHU Publishers, 2003. – 140 pp.

The book is in conformity with the programme of the discipline "Forecasts of Natural Disasters".

The book presents a list of dangerous natural phenomena and gives their principle characteristics that may lead to natural catastrophes and disasters. The phenomena are usually thoroughly studied in various geophysical sciences, but they are to be known to every expert specializing in the hydrometeorological support of economic activities. The book considers general conceptions for comparison of scales of natural catastrophes and natural disasters; it highlights the approaches which form the basis of modern techniques aimed at their forecasting.

The manual is intended for students and experts in various geophysical and hydrometeorological specialties.

ISBN 5-86813-046-4

- © Русин И.Н., 2003
- © Российский государственный гидрометеорологический университет (РГГМУ), 2003

ПРЕДИСЛОВИЕ

Изучение опасных явлений природы в целях их прогнозирования является научной основой деятельности государственных органов по обеспечению безопасности жизнедеятельности людей. Это направление исследований весьма актуально как для Российской Федерации, так и для всего мира. Частое появление в средствах массовой информации сведений о возникновении природных катастроф или стихийных бедствий создают иллюзию хорошей изученности опасных явлений природы. Однако реальный объем имеющихся сведений о них далек от необходимого уровня.

В основе такого положения лежит многообразие причин возникновения таких явлений. Опасными для людей могут быть явления природы, изучаемые в разных разделах наук о Земле. Это приводит к разобщенности результатов исследований и зачастую не позволяет создать у специалистов нужный объем знаний, чтобы спрогнозировать сценарий развития той экстремальной геофизической обстановки, которая может провоцировать стихийные бедствия.

Ввиду того, что основные работы по прогнозу опасных явлений природы выполняются обычно работниками гидрометеорологической службы, в РГГМУ читается курс лекций с соответствующим названием. Цель предлагаемого учебного пособия – изложить в форме, доступной для студентов и специалистов различных геофизических и гидрометеорологических специальностей, сведения по кругу вопросов, которые, по мнению автора, важны для понимания дизастологии – новой ветви географических наук, предметом которой являются природные катастрофы.

Термин "дизастология" для обозначения этого направления наук о земле предложен Н.В. Шебалиным в 1985 г. в книге «Закономерности природных катастроф», которая в дальнейшем будет неоднократно упомянута. Именно в этой книге сформулированы центральные вопросы, выделяющие дизастологию среди других наук, а именно: как найти критерий масштаба природной катастрофы или стихийного бедствия, как найти связь между интенсивностью геофизического явления и этим критерием, как использовать прогнозы ожидаемого опасного природного явления. Ответы на эти вопросы в настоящее время существуют, но еще носят дискуссионный характер.

Материал, излагаемый в разделах пособия, сгруппирован в соответствии с различными аспектами дизастологии. Читатели, интересующиеся вопросами возникновения стихийных бедствий, найдут здесь только перечень опасных явлений природы и краткий очерк географических и физических аспектов их возникновения. При этом учтено, что в полном объеме опасные природные явления изучаются в разных геофизических дисциплинах и принципиально не могут быть полностью описаны в небольшом учебном пособии.

Приводится также далеко не полное описание путей построения прогностических систем для катастроф и существующих методов их прогноза. Упор при этом сделан на методы, ориентированные на использование гидрометеорологической информации. Здесь также следует учесть, что и этот аспект дизастологии слишком обширен и развивается в таких специальных науках, как метеорология, гидрология, океанология, сейсмология, вулканология.

Литература, посвященная катастрофам, обширна, и автор даже не пытался сделать ее обзор. Научная цель учебного пособия состоит в том, чтобы показать, как при изучении природных катастроф сливаются знания из различных ветвей геофизики, географии и демографии с экономическими знаниями, что приводит к постановке новой теоретической проблемы из области синэргетики и теории динамических систем.

ВВЕДЕНИЕ

Наука, изучающая стихийные бедствия, называется дизастологией. Хотя название это еще не общепринято, оно достаточно точно и коротко обозначает изучаемый предмет. Дело в том, что стихийные бедствия возникают как нарушения нормального режима функционирования в каком-либо из звеньев системы многообразных связей и взаимодействий, которая называется географической оболочкой нашей планеты.

Географическая оболочка Земли включает в себя системно существующие косные геосферы, такие как литосфера, гидросфера, атмосфера, магнитосфера. Косные геосферы активно взаимодействуют с биосферой и ноосферой. Каждая из геосфер очень сложна и изучается разными науками.

Однако конфликты человечества с природой обостряются, и ученым всего мира становится ясно, что проблема взаимопонимания человека и природы не может быть решена без развития единой науки о Земле, органично объединяющей географию, геологию, геофизику, геохимию, планетологию и экологию. У этой науки уже в конце XIX в. появилось название – геонимия. Отраслевые науки успешно осуществляют аналитические исследования подсистем географической оболочки Земли. Объектом исследования геонимии является установление иерархии подсистем и соотношений между ними, формирующих глобальное экологическое равновесие.

Глобальное экологическое равновесие, как показывают современные исследования, является динамическим и, возможно, уже нарушено. Это проявляется как в медленных и малозаметных изменениях состояния отдельных подсистем географической оболочки Земли, так и в увеличении частоты стихийных бедствий, которые возникают в результате аномалий режима функционирования либо внутри отдельных из указанных подсистем, либо на границах между некоторыми из них. Эти аномалии являются опасными явлениями природы [1].

Изучая стихийные бедствия, нельзя избежать и изучения отдельных опасных явлений природы. У читателя могут возникнуть вопросы: почему дизастологию следует считать самостоятельным разделом геонимии? Почему нельзя ограничиться аналитическим изучением каждого опасного явления природы в рамках отраслевой

науки, которая детально характеризует подсистему географической оболочки, ответственную за возникновение такого явления?

Ответ на это можно дать, цитируя упомянутую в предисловии книгу Н.В. Шебалина [2]: "О катастрофе мы говорим тогда, когда в результате неблагоприятных природных обстоятельств экстремальная геофизическая ситуация оказывается способной причинить нам большой ущерб. ... Способность причинять ущерб требует, чтобы существовал какой-то материальный источник разрушений, поражающий фактор. ... Говоря о разрушительной способности природных катастроф, нам прежде всего хотелось бы иметь единую шкалу для сравнения катастроф между собой". И еще: "Сегодня нам не всегда удастся с уверенностью предсказать конкретное стихийное бедствие. Но мы можем и должны загодя предвидеть общий итог всех природных катастроф на достаточно длительный срок".

Итак, дизастология ориентируется на изучение способности опасных явлений природы причинять ущерб, в первую очередь, человеку и социумам и, конечно, всей совокупности важных для экологического равновесия характеристик. Безусловно, целью дизастологических исследований является оценка потенциальной опасности стихийных бедствий в отдельных регионах и прогноз возможного ущерба.

Именно с этих позиций становится понятно, как важно именно метеорологам изучать эти вопросы. Ведь метеорологическая сеть наблюдений, сбора информации и прогноза погоды является в настоящее время основой прогнозирования большей части опасных явлений природы. Методология метеорологических прогнозов охватывает практически все аспекты теории научного прогнозирования.

Метеорологические кадры подготовлены для оперативного обслуживания всех сфер экономики информацией о возникновении критических ситуаций в природе. Однако кругозор студентов гидрометеорологического профиля оказывается узок, когда им приходится сталкиваться с опасными явлениями природы, возникающими вне привычных им геосфер. Например, студенты-метеорологи недостаточно осведомлены даже о классификации наводнений и совсем мало знают о землетрясениях.

В настоящем издании сделана попытка, хотя бы частично, ликвидировать этот пробел. Автор, являясь профессиональным метеорологом, попытался выделить общие черты, присущие разным

опасным явлениям природы, являющимся носителями опасных стихийных бедствий и объектами для наблюдения и прогнозирования возможного ущерба от стихийных бедствий в разных районах как освещенных, так и не освещенных данными. Такой подход был свойственен методологии метеорологического прогнозирования от момента зарождения, и можно надеяться, что он будет полезен и в диастологических задачах.

ПРИРОДА СТИХИЙНЫХ БЕДСТВИЙ

1. ОПАСНЫЕ ЯВЛЕНИЯ ПРИРОДЫ И БЕЗОПАСНОСТЬ ЧЕЛОВЕКА

В конце XX в. человечество вполне осознало уязвимость ойкумены – мира своего обитания. Понятым оказалось и то, что безопасность условий проживания является важнейшим из прав человека. Сложившийся уровень безопасности условий проживания характеризуется наличием медленно нарастающих негативных процессов (экологических и социальных), способных со временем привести к взрывам, а также увеличением риска возникновения возможных катастроф (природных и техногенных). Указанные процессы проявляют взаимозависимость. Социальные факторы могут вести к негативным изменениям экологического состояния, которые, в свою очередь, могут провоцировать катастрофы как природного, так и техногенного происхождения. А катастрофы могут принимать масштабы стихийных бедствий и вызывать мощные социальные взрывы.

1.1. Человечество и природные катастрофы

Для целей выработки решений по проблемам безопасности, для планирования распределения ресурсов планеты в целях предупреждения или ликвидации последствий проявления негативных явлений в развитии ноосферы необходим анализ причин, определяющих риск катастроф. Так появилась потребность в изучении проблем риска катастроф разного масштаба всеми науками, в том числе и естественными, к которым принадлежат и метеорология, и гидрология, и океанология.

Как только правительства, общественность и ученые обратили внимание на проблему жизни в условиях возможности катастроф, первые же исследования привели к трудно интерпретируемым выводам. Казалось бы, полезно прогнозировать возникновение угрозы катастрофы. Однако жители районов, где возникает опасность, не торопятся реагировать на полученный прогноз. Даже эвакуацию населения оказывается возможным провести только когда размах стихийных бедствий не оставляет местным жителям другого выхода. Причина этого сугубо психологическая – боязнь расхищения

оставленного имущества. Таким образом, полезность прогноза ставится некоторыми специалистами под сомнение.

Одним из предварительных профилактических мероприятий для защиты от опасных явлений природы является смена мест постоянного жительства. Организовать его оказывается необычайно трудно. Многие социально-психологические свойства людей приводят к тому, что они возвращаются "к родному пепелищу". Немалую роль играет и то, что после катастрофы природные свойства местности, в частности, плодородие почв, могут стать лучше. Следует также отметить, что население опасных районов даже в развитых странах недостаточно широко использует страхование для возмещения ущерба.

Другое направление профилактической деятельности относится к сфере деятельности правительств и сводится к проведению дорогостоящих работ по строительству защитных сооружений. Поскольку эти работы приводят к омертвлению значительных капиталов, частные инвесторы ими не интересуются. Поскольку полной надежности защиты никакое сооружение дать не может, особо сильные стихийные бедствия губят и сами защитные сооружения. Ненадежность защитных сооружений показывает всю остроту проблемы выживания человечества под напором катастроф. Однако этот социально-политический аспект дизастологии в этом учебном пособии не рассматривается.

1.2. Опасные явления природы, природные катастрофы, стихийные бедствия. Терминология

Приступая к изучению проблем воздействия природных катастроф на безопасность человечества, полезно уточнить смысл используемых терминов. Это можно сделать, используя толковые словари. Например, в словаре В.И. Даля слово "катастрофа" определяется как "случай гибельный, бедственный, несчастье, крушение судьбы человеческой". Но почти так же истолковывается и слово "беда". В современной практике оценивания, например, летных происшествий происшествие считается катастрофой, если в его результате погиб хотя бы один человек. Слово "бедствие", по В.И. Далю, "более относится к известному случаю: неурожай, повальные болезни, бури, наводнения...".

Словосочетание "природная катастрофа" используется, когда хотят подчеркнуть, что причиной возникновения катастрофы является какое-либо природное явление. Для того чтобы подчеркнуть масштаб природной катастрофы, часто используется термин "стихийное бедствие". По В.И. Далу: "Стихиями иногда называют основные вещественные, неживые силы природы, по древним – четыре: земля, вода, воздух и огонь. Стихии – составные части чего-либо, в прямом и иносказательном смысле".

Не всякая катастрофа с участием природных объектов может считаться природной. Сравним три гипотетических варианта катастроф: гибель пассажиров автомобиля, врезавшегося в дерево, гибель людей на борту судна, столкнувшегося с айсбергом, гибель экипажа самолета, в который попала молния. При сравнении этих ситуаций становится понятно, что роль природы различна во всех случаях. В первом случае катастрофы могло бы не быть, если бы не неудачное управление. Во втором случае катастрофы можно было бы избежать при заблаговременном прогнозе опасности. Однако третий случай можно с уверенностью отнести к природным катастрофам, так как скорость природного воздействия так велика, что возможность уклониться исключается.

Таким образом, при изучении природных катастроф следует различать природную среду как место, где происходит катастрофа, как природный процесс, который порождает ситуацию, при которой возможны опасные воздействия на некоторые объекты, и, наконец, как природные факторы, производящие воздействия (удар, возгорание, затопление) и определяющие их силу (интенсивность).

Совершенно по-другому воспринимается катастрофа в технике. Изучается надежность объекта, подвергающегося воздействиям, возможность передачи воздействия на людей, как-либо связанных с объектом, возможность управления объектом в целях защиты людей. Наконец, большое значение имеет поведение людей во время опасности. Реакция людей зависит от уровня их экономического благосостояния, социального и медико-биологического состояния. Эти аспекты изучения катастроф относятся к сфере общественных наук и медицины.

Прежде чем очертить круг вопросов, которые изучает такая техническая дисциплина, как безопасность жизнедеятельности (БЖ), следует определить ее основные понятия. Объектом анализа опасно-

стей является система "человек – машина – окружающая среда", т.е. единый комплекс, в котором объединены и взаимодействуют технические объекты, люди и окружающая среда [1]. Опасность можно определить как способность системы причинить ущерб себе самой и внешней по отношению к ней окружающей ее среде.

Опасность возникает при функционировании системы. Режим функционирования систем может быть штатным и нештатным. Нештатный режим может выражаться в виде ЧП (чрезвычайных происшествий), которые могут иметь характер отказа работоспособности системы, инцидента (отказ по вине оператора), несчастного случая (ЧП, приводящее к повреждению организма человека) или катастрофы (ЧП, приводящее к человеческим жертвам).

Нештатный режим может быть создан по причинам техногенного или природного характера. Техногенные ЧП в данном курсе не рассматриваются. Они являются предметом изучения таких дисциплин, как "Анализ надежности систем". Однако в тексте техногенные ЧП часто будут использоваться в качестве примеров, поскольку последствия этих событий, как правило, бывают хорошо документированы.

Нештатный режим функционирования системы, вызванный нарушением нормального хода природных процессов, называется в БЖ природным ЧП, а в том случае, если оно сопровождается потерями людей, оно называется природной катастрофой. Примерами техногенных катастроф являются авиационные катастрофы, связанные с техническими неисправностями или деятельностью людей. Те же авиационные катастрофы, которые часто происходят по причинам воздействия на летательный аппарат погодных условий, относятся к природным катастрофам.

Поскольку штатное функционирование систем рассчитывается при их проектировании на нормальные природные условия, то становится понятным, что природные катастрофы возникают как следствие срывов нормального хода природных процессов. Такие срывы принимают форму значительных отклонений характеристик состояния природной среды от их средних значений – аномалий. Эти аномалии, по предложению Шебалина [2], можно называть экстремальными геофизическими ситуациями. Экстремальные геофизические ситуации возникают каждый год, но только изредка они достигают опасных для людей степеней развития. Обычно для идентификации именно таких редких аномальных условий будет использован

более распространенный среди метеорологов, гидрологов и океанологов термин "опасные явления природы".

Если последствия ЧП сказываются на состоянии внешней по отношению к системе окружающей среды, то уместно считать, что имеет место стихийное бедствие. Примерами стихийных бедствий являются разливы нефти, возникающие вследствие аварий танкеров или газопроводов. К ним же можно отнести лесные или степные пожары, возникающие вследствие пожаров на техногенных объектах или просто по человеческой неосторожности. Масштабы стихийных бедствий бывают разными, и практика использования этого термина в России показывает, что стихийные бедствия, не большие по размеру материального ущерба и не приведшие к человеческим жертвам, называют чрезвычайными ситуациями (ЧС).

Схематически составляющие условия возникновения природных катастроф и стихийных бедствий изображены на рис. 1.

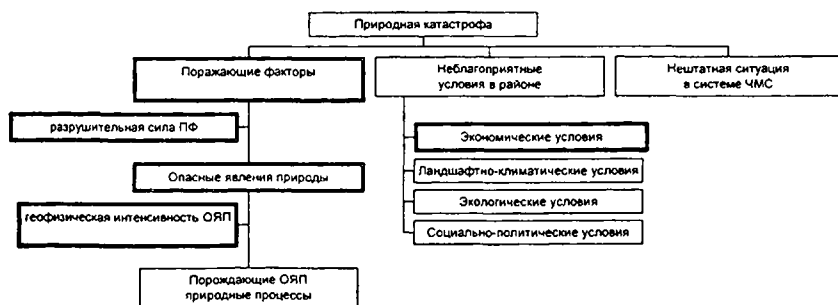


Рис. 1. Схема факторов, взаимодействие которых порождает природную катастрофу. Выделены факторы, изучаемые в этом учебном пособии

Вклад естественных наук в изучение катастроф состоит, во-первых, в углубленном изучении состояния природной среды в географическом районе – этим занимается экология, во-вторых, в установлении механизмов возникновения опасных явлений природы (ОЯП) для их прогноза – этим занимаются соответствующие отрасли геофизики, в-третьих, в оценке возможных негативных эффектов этих ОЯП и их влияния на состояние экономики рассматриваемого географического региона – это, вероятно, является предметом дизаэстологии. Предметная область дизаэстологии показана в виде схемы

на рис. 1. На ней приведены все основные факторы, способствующие образованию природной катастрофы или стихийного бедствия, и выделены те из них, которые затронуты в этой книге.

Из сказанного выше понятно, что природные ЧП и катастрофы, как и ЧС, и стихийные бедствия, имеют место только при возникновении опасных явлений природы (ОЯП). Так как последние являются аномалиями, то для описания частоты их возникновения удобно пользоваться терминами теории вероятности. С этим связано введение понятия "риск". Риск в широком смысле – это вероятность подвергнуться опасности. Опасность может заключаться в физическом повреждении, в финансовом или экономическом проигрыше или в другой форме причинения вреда [1]. Риск в узком смысле определяется как вероятность неблагоприятного исхода. Рассмотрению вопросов оценки риска природных катастроф посвящены специальные разделы этого учебного пособия.

Выяснив смысл терминов, описывающих явления, избранные для изучения, можно понять, чем круг вопросов, изучаемых в геофизической дизастологии, отличается от круга вопросов БЖ. Это, во-первых, аспекты оценки опасности явлений природы, а во-вторых, аппарат для прогнозирования риска их возникновения и оценки масштаба возможных потерь. Нетрудно понять, почему возникла необходимость выделения этих вопросов в самостоятельную область науки. Дело в том, что опасные явления природы происходят во всех геосферах и изучаются самостоятельными областями геофизики. Каждая из этих областей имеет собственный физико-математический аппарат и так сложна, что специалисты из разных областей не в состоянии уследить за всеми достижениями даже своих коллег. В то же время особенно тяжелые условия для жизнедеятельности людей создаются вследствие комбинации нескольких ОЯП в одном месте и одновременно или последовательно. Это означает, что "... нужна новая естественнонаучная дисциплина, которая, опираясь на достижения всего комплекса наук о Земле, будет разрабатывать методологию... для своевременного предупреждения людей, проживающих в разных регионах, о грозящих им ОЯП и возможных масштабах бедствий. В роли координатора должна выступить дизастология.

2. КОЛИЧЕСТВЕННАЯ ОЦЕНКА МАСШТАБА КАТАСТРОФ

Исследуя разрушительные силы опасных явлений природы (ОЯП), важно иметь единую шкалу для измерения размеров природных катастроф или стихийных бедствий. Это позволило бы сравнивать степень опасности ожидаемых в рассматриваемом районе ОЯП, что необходимо для планирования защитных мероприятий или масштабов необходимой помощи пострадавшим. Известны случаи, когда гуманитарная помощь, нацеленная на компенсацию последствий стихийного бедствия, но продолжавшаяся слишком долгое время, приводила к подрыву экономики слабо развитых стран.

2.1. Измерение масштаба природных катастроф

К сожалению, единой шкалы для сравнения ЧП во всем мире пока не существует. Обычно для определения размера ЧП используется два показателя: число летальных исходов за катастрофу (обозначим его через C ; единица измерения – ЛИ), а также размер материального ущерба за катастрофу, обозначим его через M (единица измерения – млн. дол. США). Эти показатели имеют различную размерность, что затрудняет сравнение масштабов ЧП. Чтобы избежать этого, можно, как предложил Шебалин, воспользоваться индексами. С математической точки зрения, размер катастроф следует считать векторной величиной, так как величины C и M являются независимыми.

Компоненты вектора удобно измерять в единой системе единиц. Чтобы получить ее, следует число летальных исходов во время катастрофы и материальные потери выразить в экономической мере. Это можно сделать, считая, что один человек ежегодно производит материальных ценностей на сумму глобального валового продукта на душу населения. За базисный период примем середину 80-х гг. XX в., когда значение глобального валового продукта на душу населения составляло примерно 5500 дол. (Переход к любому другому периоду несложно произвести, воспользовавшись каким-либо индексом цен, например, ценой унции золота.)

Величину материальных потерь (K), которые понесет общество от гибели одного человека, можно получить, умножив значение глобального валового продукта на душу населения в выбранный год (далее взят 1984 г.) на среднюю продолжительность трудовой жиз-

ни. Поскольку эта последняя величина в значительной степени является абстракцией, ее значение можно оценить, разделив характерную величину материальных потерь на одного погибшего в конкретной стране (в базисный период в США эта величина составляла 850 000 дол.) на величину национального валового продукта на душу населения в этой стране (в США в этот период она составляла примерно 18 300 дол.). По этим числам условная средняя продолжительность трудовой жизни США составит 46 лет. Приняв это число за основу, легко определить, что материальные потери человечества при гибели одного человека K составляют примерно 253 тыс. дол. на одного погибшего (0,253 млн. дол.).

Можно получить единую оценку потерь в виде модуля вектора $\{C, M\}$, который вычисляется по формуле

$$S_{\text{вект}} = [(KC)^2 + M^2]^{1/2}. \quad (2.1)$$

Однако, как будет видно из дальнейшего, применение векторной оценки неудобно, так как не позволяет выявить в аддитивной форме все факторы, влияющие на величину возможных потерь. Учитывая, что величины C и M по смыслу не могут быть отрицательными и изменяются в ограниченном диапазоне значений, можно вместо модуля вектора потерь ввести скалярную величину, которая в дальнейшем будет именоваться приведенными потерями (S). Она рассчитывается по формуле

$$S = KC + M, \quad (2.2)$$

в которой масштабный коэффициент приведения числа погибших – K – имеет размерность млн. дол./ЛИ и при выбранных значениях равен 0,253. Сравнение введенных величин S и $S_{\text{вект}}$ будет сделано ниже.

Ввиду того, что значения приведенных потерь S изменяются в широком диапазоне, удобно от самой величины перейти к ее десятичному логарифму. При этом приходится приводить логарифмируемую величину к безразмерному виду, для чего следует выбрать уровень потерь, который можно принять за репер. Представляется, что наиболее известной и навсегда запечатленной в памяти людей является гибель "Титаника". Эта катастрофа, в которой за несколько часов погибло 1500 человек, настолько потрясла общество, что о размере материального ущерба в прессе того времени почти не было упоминаний.

Поэтому за единицу приведенных потерь примем значение S_0 , получающееся по формуле (2.1) при $C_0 = 1500$ и $M = 0$. Значение этой величины составляет при принятых предположениях 380 млн. дол.

На основании указанного выше в качестве индекса величины приведенных потерь при катастрофах и стихийных бедствиях будет использована величина IS , рассчитываемая по формуле

$$IS = \lg[C/C_0 + M/(KC_0)] = \lg(C/1500 + M/380). \quad (2.3)$$

С помощью введенного индекса можно произвести сравнительные оценки наиболее известных катастроф. В табл. 1 помещены наиболее крупные катастрофы по данным работы [3], которые дополнены расчетом индекса приведенных потерь и упорядочены по возрастанию этого индекса. В этой же таблице приведены значения модуля и аргумента векторных потерь $\{C, M\}$ для сравнения с величиной приведенных потерь и некоторых выводов.

Табл. 1 демонстрирует полезные свойства индекса избранного метода индексации. Во-первых, можно убедиться, что переход от модуля векторной оценки $S_{\text{вект}}$ к скалярной оценке S не искажает порядка расположения катастроф по величине выбранного критерия. Дело в том, что между обеими величинами существует сильная корреляционная зависимость ($R^2 = 0,998$), т.е. они вполне взаимозаменяемы. Использование приведенных потерь открывает широкие возможности для постановки задач оптимального планирования и управления в условиях риска катастроф.

Во-вторых, аргумент векторной оценки можно в этих условиях рассчитывать без потери корректности оценки. Эта величина, приведенная в табл. 1, позволяет дифференцировать катастрофы по характеру преобладающих потерь. Например, пожары в США или взрыв Чернобыльской АЭС не сопровождались заметными людскими потерями. Напротив, наводнения в Китае или Бангладеш при огромных людских потерях нанесли существенно меньший материальный ущерб. Для отражения этих характеристик катастроф удобен параметр $\text{Atg}(M/C)$. Если его выражать в угловых градусах, то можно условиться, что при значениях меньше или равных 30 катастрофа наносит удар по населению, а при значениях больше или равных 60 катастрофа главным образом выразится в материальном ущербе.

Таблица 1

Наиболее крупные катастрофы за период 1976–1995 гг.

Место	Катастрофа	Год	Доход на 1 чел. в год	С, ЛП	М, млн. дол.	S _{вект}	Atg (M/C), град	S	IS
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Чили	Землетрясение	1985	1500	200	1200	1201	80	1250	0,52
Италия	Нефть (трубопровод)	1989	12932	0	1300	1300	90	1300	0,53
Бангладеш	Наводнение	1988	153	2000	1000	1121	30	1510	0,6
Италия	Засуха	1989	12932	0	1500	1500	90	1500	0,6
Англия	Шторма	1990	11370	140	1500	1500	80	1540	0,61
Иран	Наводнение	1986	4150	424	1560	1564	70	1670	0,64
Сальвадор	Землетрясение	1986	800	1000	1500	1521	60	1750	0,66
Пакистан	Наводнение	1992	343	3000	1000	1255	20	1760	0,67
Бангладеш	Наводнение	1987	153	1600	1600	1650	50	2000	0,72
Венгрия	Засуха	1989	6200	0	2000	2000	90	2000	0,72
США	Ураган	1979	18309	1400	2000	2031	60	2350	0,79
Канада	Засуха	1984	15744	0	2500	2500	90	2500	0,82
Югославия	Землетрясение	1979	2223	131	2700	2700	90	2730	0,86
Алжир	Землетрясение	1980	3230	2590	3000	3071	50	3660	0,98
Италия	Землетрясение	1976	12932	978	3600	3608	70	3850	1,01
Мексика	Землетрясение	1985	1612	7000	4000	4375	30	5770	1,18
Гватемала	Землетрясение	1976	894	22776	1100	5866	0	6860	1,26
США	Нефть (танкер)	1989	18309	0	7000	7000	90	7000	1,27
США	Землетрясение	1989	18309	61	7000	7000	90	7020	1,27
Китай	Наводнение	1994	300	1260	7000	7007	80	7320	1,28
Украина	Взрыв АЭС	1985	1000	30	8000	8000	90	8010	1,32
США	Ураган	1989	18309	100	8200	8200	90	8230	1,34
США	Засуха	1988	18309	0	9000	9000	90	9000	1,37
Италия	Землетрясение	1980	12932	3114	10000	10031	70	10790	1,45
США	Ураган	1988	18309	1000	11000	11003	80	11250	1,47
США	Наводнение	1993	18309	50	12000	12000	90	12010	1,5
Индия	Наводнение	1993	318	3000	12600	12623	80	13360	1,55
США	Ураган	1992	18309	34	15000	15000	90	15010	1,6
США	Землетрясение	1994	18309	56	17000	17000	90	17010	1,65

Окончание табл. 1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Армения	Землетрясение	1988	1000	25000	11000	12689	20	17330	1,66
США	Пожары	1991	18309	0	25000	25000	90	25000	1,82
Украина	Взрыв АЭС*	1985	1000	30	30000	30000	90	30010	1,9
Бангладеш	Наводнение	1991	153	139000	1400	35195	0	36570	1,98
Япония	Землетрясение	1995	19174	5000	40000	40020	80	41270	2,04
Китай	Землетрясение	1976	300	242000	5600	61482	0	66830	2,25
Ирак	Война	1991	3928	0	500000	500000	90	500000	3,12

Примечание. Характеристики войны в Ираке приведены для сравнения. Данные о людских потерях неизвестны [3].

Логарифмический индекс приведенных потерь IS удобен применительно к анализу масштаба катастроф прежде всего тем, что он изменяется в узких пределах, но дает ясное представление о масштабе катастроф. Значение индекса, равное нулю, по построению равнозначно $C = 1500$ ЛИ или материальным потерям $M = 380$ млн. дол. Изменение значения этого индекса на единицу равнозначно изменению значения потерь на порядок, т.е. в 10 раз. Например, катастрофа минимального размера, приводящая к гибели хотя бы одного человека, будет иметь значение индекса приведенных потерь, равное $IS = -3,177$.

Индекс приведенных потерь, учитывающий как человеческие жертвы, так и материальные потери с учетом поправки на экономический уровень развития страны, позволяет ранжировать катастрофы и стихийные бедствия. Результаты ранжирования можно признать вполне согласующимися с представлениями общечеловеческой морали. Если пользоваться данными о жертвах, то из таблицы можно видеть, что наводнения в Индии, Китае и Бангладеш были самыми ужасающими природными катастрофами. Максимальные материальные потери понесла экономика самых богатых стран – США и Японии. С помощью введения индекса приведенных потерь между всеми этими событиями устанавливается порядок, совместимый с представлениями морали и экономики. Действительно, с

* по зарубежным данным

одной стороны, катастрофические наводнения в бедных странах можно признать по масштабу сопоставимыми с землетрясением в Японии, во время которого число жертв было почти на порядок меньше, но оказался полностью разрушен крупный культурный и промышленный центр. С другой стороны, даже локальная война в Ираке, причем, без учета данных о числе жертв, оказалась по масштабу крупней всех природных катастроф конца XX в. [3].

2.2. Индекс потенциальных потерь

Введение индекса IS для измерения масштабов бедствий позволяет оценить и сравнить масштабы уже произошедших катастроф. Однако с его помощью нельзя установить, какие характеристики ОЯП следует изучать в дизастиологии, чтобы приступить к оцениванию потенциальной опасности. Для этого нужно оценить потенциально возможные величины C и M . Согласно определению, C представляет собой число погибших за время катастрофы на площади ее протекания. Это может быть записано с помощью двух равенств

$$C = dN/dt \, S \tau = \alpha_c \rho_c S \tau, \quad (2.4)$$

здесь S – площадь зоны поражения катастрофой; τ – продолжительность катастрофы; N – численность людей в зоне поражения; α_c – коэффициент потерь людей в результате катастрофы (в демографии принято название коэффициент смертности); ρ_c – плотность населения в зоне поражения катастрофой.

При выводе этой формулы использованы широко известные идеи математической теории популяций, когда предполагается, что скорость убывания числа людей пропорциональна плотности их на исследуемой территории.

По аналогии, равенство для расчета материального ущерба примет вид

$$M = d\Sigma/dt \, S \tau = \alpha_s \rho_s S \tau = \alpha_s \rho_s B/p \, S \tau. \quad (2.5)$$

Здесь Σ – денежная величина запаса материальных ценностей в зоне поражения; α_s – коэффициент потерь материальных ценностей в результате катастрофы; ρ_s – плотность расположения (концентрация) материальных ценностей в зоне поражения катастрофой; B – национальный доход на душу населения в год; p – процент прироста национального дохода (в долях единицы).

Равенство (2.5) можно обосновать, используя в качестве величины Σ отношение значения национального богатства в рассматриваемом регионе к территории региона (плотность распределения национального богатства страны). Однако статистика национального богатства гораздо менее доступна, чем статистика национального продукта. Учитывая приближенный характер критериев, используемых здесь для оценки потенциальных потерь от природных катастроф, примем во внимание, что носителем запаса материальных ценностей является население.

Предположим, что валовый национальный продукт, по аналогии с прибылью предприятия, составляет некоторый ежегодный процент от вложения национального богатства. Тогда, зная этот процент (p), можно по данным о национальном продукте на душу населения (B) приближенно оценить национальное богатство региона отношением $\rho_c B/p$. Так как ρ_c обозначает концентрацию годового валового продукта на единицу площади в зоне поражения катастрофой, то она должна быть равна этому отношению.

Если сравнивать коэффициент людских потерь от катастрофы с коэффициентом естественной смертности населения α_0 , то можно рассчитать коэффициент поражения людей E_c по формуле

$$E_c = \alpha_c / \alpha_0. \quad (2.6)$$

Если то же самое сделать и по отношению к коэффициенту материальных потерь, приняв за единицу разрушения коэффициент естественной убыли (α_0) материальных ценностей. Тогда можно получить коэффициент разрушения E_s по формуле

$$E_s = \alpha_s / \alpha_0. \quad (2.7)$$

Для получения предварительных оценок примем, что без принятия мер гражданской обороны при природных катастрофах потери людей находятся на том же уровне, что и материальные потери. Поэтому можно предположить, что $E_c = E_s = E$, где E – коэффициент поражения, который зависит от характера и силы воздействия опасного явления природы на объекты. Сделав все указанные предположения, можно преобразовать индекс приведенных потерь [формула (2.3)] к новой форме

$$IS = \lg \{ \alpha_0 \rho_c [1 + \alpha_{s0} / \alpha_0 (k B_0 / p) B / B_0] (S_0 \tau_0 / 1500) \} + \lg (S / S_0) + \lg (\tau / \tau_0) + \lg E. \quad (2.8)$$

В этом выражении введены для контроля за сохранением правильной размерности новые обозначения. Величина B_0 обозначает средний глобальный продукт на душу населения (для базисного периода принято, что $B_0 = 5500$ дол.). Величина S_0 представляет единицу измерения площади катастрофы (принято считать, что она составляет 1000 км^2), а величина t_0 представляет единицу измерения продолжительности катастрофы (принято, что она составляет 1 год).

Выбор единиц произведен так, чтобы использовать известные демографические и экономические данные из справочников. Некоторые затруднения с оценкой коэффициента $\alpha_{s0} / \alpha_{s0}(k B_0/p) B/B_0$ в дальнейших исследованиях могут быть преодолены путем тщательного анализа их экономического смысла. Далее принято, что он равен 1.

Формула (2.8) позволяет оценить возможные потери, которые на данной территории, характеризующейся плотностью населения ρ_s и доходом на душу населения в год B_0 , могут возникнуть, если на этой территории случится природная катастрофа с коэффициентом поражения E , площадью S и продолжительностью t . Разные слагаемые в правой части формулы (2.8) характеризуют разные свойства катастроф, изучаемые разными разделами геофизики и географии.

Первое слагаемое не меняется со временем и не зависит от характера катастрофы. Его можно назвать географической составляющей индекса возможных потерь. Второе слагаемое характеризует влияние площади, охваченной катастрофой, на величину потерь от этой катастрофы. Значение величины этого слагаемого полностью определяется условиями протекания и природой конкретного ОЯП. Статистические характеристики и возможность прогноза ОЯП должны быть предметом изучения тех разделов геофизики, в которых подробно изучается это явление природы. То же можно сказать и о третьем слагаемом правой части формулы (2.8). Оно описывает влияние продолжительности катастрофы на возможные потери от нее.

Последнее слагаемое описывает количественно разрушительную силу катастроф. Оно может зависеть как от характера факторов катастрофы, воздействующих на людей и материальные ценности, так и от интенсивности ОЯП. Характер поражающих факторов служит показателем избирательности воздействия. Действительно, даже самая продолжительная "сильная" засуха, приводящая к вымиранию населения в регионе, почти не затрагивает состояние строений. Но даже, сравнительно слабое землетрясение, произошедшее в

неподготовленном районе днем, может, даже без жертв, уничтожить все капитальные сооружения.

Зависимость потерь от состояния готовности региона к прохождению ОЯП не относится к геофизической дизастологии. Этот вопрос является предметом изучения в науке о безопасности жизнедеятельности. Далее он больше не будет рассматриваться. Интенсивность катастрофы определяет степень разрушения тех свойств объектов, на которые действует поражающий фактор. Установление зависимости степени возможного разрушения от интенсивности ОЯП, безусловно, является одной из важнейших задач дизастологии. Об этой задаче будет сказано отдельно.

3. ДЕМОГРАФИЧЕСКИЙ И ЭКОНОМИЧЕСКИЙ ФОН ОПАСНЫХ ЯВЛЕНИЙ ПРИРОДЫ

В фундаментальной работе А.А. Григорьева и К.Я. Кондратьева [3], посвященной природным катастрофам, перечислены важнейшие факторы экологического риска. Несколько видоизменяя формулировки, перечислим эти факторы:

- 1) наличие опасных явлений природы,
- 2) наличие опасных техногенных явлений,
- 3) наличие материальных ценностей,
- 4) наличие уязвимого населения,
- 5) степень подготовленности населения,
- 6) напряженная экологическая обстановка.

Для геофизиков, прогнозирующих возникновение ОЯП, все факторы, кроме первого, образуют фон, на котором разыграется природная катастрофа. Второй фактор в этом перечне изучается в технике и относится к анализу надежности систем. Пятый фактор является предметом "Основ безопасности жизнедеятельности". Шестой составляет предмет прикладной экологии. Общим для них является то, что значения характеристик интенсивностей этих факторов может увеличить или уменьшить материальные потери. Однако само существование возможности потерь связано с третьим и четвертым факторами. Именно они определяют потенциальную опасность природных катастроф в заданном районе. Именно их распределение по земному шару можно изучить, используя введенный в предыдущем разделе индекс потенциальных потерь IS .

3.1. Расчет географической составляющей индекса потенциальных потерь

Формула (2.8), определяющая индекс потенциальных потерь в случае возникновения опасного явления природы, содержит слагаемое, значение которого в каждом конкретном районе не зависит от характера ОЯП и отражает исключительно демографические и экономические особенности этого района. С учетом всех принятых допущений это слагаемое, которое в дальнейшем будет называться географической составляющей индекса потенциальных потерь и обозначаться через ISg , можно рассчитать по формуле

$$ISg = \lg \{ \alpha_{c0} \rho_c [1 + B/B_0] / 1500 \}. \quad (3.1)$$

Использовать эту формулу для расчетов можно для таких районов территориального деления земного шара, для которых можно найти необходимые статистические данные. Потребуется значения плотности населения (единица измерения: 1000 чел./1000 км²), коэффициент смертности (единица измерения: ЛИ/1000 чел.год.), национальный продукт на душу населения (единица измерения: дол./чел. год)).

Все эти данные доступны, хотя обычно относятся только к государствам в целом. Это не очень удобно для оценок природных явлений, так как площади территории государств резко различаются. Однако для получения предварительных оценок можно воспользоваться и такими данными. В Приложении приведена сводка необходимых для прикидочных расчетов данных, заимствованных из различных справочников, относящихся к периоду 1988–1998 гг.

Для отработки техники расчета индекса рекомендуется пересчитать значения, приведенные в табл. 2. В ней помещены выписанные из Приложения данные для стран, у которых национальный продукт на 1 чел. в год *B* больше 20 000 дол., а также результаты вычислений географической составляющей индекса по формуле (3.1).

Таблица 2

Значение географической составляющей индекса потенциальных потерь для стран с национальным продуктом на душу населения больше 20 000 дол.

Страна	Нац. продукт на чел. в год	Смертность (ЛИ/тыс. чел.год)	Плотность населения (1000 чел./1000 км ²)	Значение индекса [по формуле (3.1)]
Австралия	20 445	7	2	-1,28
Канада	22 500	7	3	-1,17
Норвегия	22 102	10	11	-0,43
Соединенные Штаты Америки	25 641	8	28	-0,07
Объединенные Арабские Эмираты	25 080	3	30	-0,48
Катар	20 075	4	47	-0,29
Люксембург	24 339	9	146	0,7
Швейцария	20 949	9	172	0,69
Лихтенштейн	21 000	7	191	0,6
Япония	20 123	7	332	0,86
Гонконг	24 558	6	5189	2,05
Коэффициент корреляции между столбцом и индексом	0,185	0,082	0,688	1

Приведенные в последней строке этой таблицы коэффициенты корреляции между всеми ее столбцами и последним позволяют сравнить роль различных факторов в формировании значения индекса потенциальных потерь. Она подчеркивает важность плотности распределения населения и заметную роль экономического фактора.

Значения, помещенные в табл. 2, интересны еще и тем, что демонстрируют влияние важнейшего фактора, определяющего значение ISg . Видно, что весь диапазон значений географической составляющей индуцируется изменчивостью плотности населения. Отметим, что для городов-государств (Мальта, Гибралтар, Сингапур, Гонконг, Монако), где плотность населения на порядок выше, чем в самых густо населенных больших государствах, значения ISg оказались почти на единицу больше. Поэтому они были исключены из дальнейшего анализа. Степень потенциальной опасности городов-государств и мегаполисов следует анализировать отдельно.

Таблица 3

Значения факторов, определяющих индекс потенциальных потерь, по разным группам

Варианты расчета	$1 + B/B_0$	ВВП на 1 чел. в год	Смертность	Плотность населения (тыс. чел./1000 км ²)	Значения индекса	Страны, примерно одинаковые по ВВП и ISg
По всем случаям						
Минимум	1,005	141	1,8	0,026	-3,48	Гренландия
Максимум	1,932	25641	47,3	889,5	0,97	Бельгия
Среднее	1,21	5767	9,6	114,1	-0,28	Эстония
$IS < -0,5$ первая группа						
Минимум	1,013	355	3,5	0,026	-3,48	Гренландия
Максимум	1,818	22500	47,3	66,9	-0,51	ОАЭ
Среднее	1,146	4025	9,9	17,6	-1,01	Габон
$0,03 > IS > -0,5$ вторая группа						
Минимум	1,005	141	1,8	11,2	-0,5	Тунис
Максимум	1,932	25641	19,3	326,7	0,02	Ирландия
Среднее	1,169	4657	9,6	78,4	-0,22	Свазиленд
$IS > 0,03$ третья группа						
Минимум	1,008	235	3,3	78,1	0,03	Нигерия
Максимум	1,887	24390	24	889,5	0,97	Бельгия
Среднее	1,324	8910	9,4	259,7	0,45	Ливан

Вклады различных компонент в значения ISg даны в табл. 3. Она получена путем предварительного разбиения всех стран, приведенных в Приложении 1, по значениям ISg на три группы, содержащие очень близкое число членов.

В первую группу отнесены государства, для которых ISg оказался меньше $-0,5$. В этих странах возможные потери в случае возникновения природных катастроф должны быть самыми малыми. Интересно, что в эту группу попала и страна с суровыми природными условиями (Гренландия), и страна с очень высоким показателем экономического развития (Австралия). Невозможно подобрать реальную страну с индексом потенциальных потерь, равным среднему по группе, и одновременно с остальными показателями, близкими к средним по группе. Поэтому в качестве представителя средней по ISg страны выбиралась та, у которой ВВП на душу населения наиболее близок к среднему. Для первой группы это Габон.

Вторая группа объединяет страны со средним значением ISg , близким к нулю. Следует помнить, что это значение показывает, что на территории 1000 км^2 за год в стране с таким индексом потери за счет естественных процессов (смертности людей или износа техники) равносильны по величине потерям на "Титанике". Это не будет удивлять, если учесть, что 1000 км^2 – это площадь большого города, на которой, скажем, в Бельгии проживает почти по 900 000 чел., что при смертности 10 ЛИ на 1000 чел. в год дает 9000 умерших.

Ко второй группе относятся США ($ISg = -0,07$) и Китай ($ISg = -0,05$). Для стран, входящих в эту группу, данные о потерях от природных катастроф особенно важны с научной точки зрения, так как они в минимальной степени подвержены искажениям за счет демографических и экономических факторов. Таким образом, при оценке уровня потерь от природных катастроф изучению данных США и КНР следует отдавать предпочтение. Однако наиболее близкими к средним условиям по ВВП на душу населения в этой группе оказываются такие страны, как Алжир и Свазиленд.

Наибольшие значения ISg приходится на страны третьей группы. Интересно, что в эту группу наряду с Бангладеш, Индией и Пакистаном, вошли Япония и страны Западной Европы. Объединение в одной группе стран с такими различными экономическими характеристиками, с одной стороны, показывает, что важнейшим фактором опасности природных катастроф является высокая концентра-

ция населения в районе ОЯП. С другой стороны, понятно, что бедствия, которые почти ежегодно посещают Бангладеш, могли бы в Западной Европе привести к еще более масштабным потерям. Так что население этого региона может оказаться очень чувствительным к изменению риска ОЯП. Этому препятствует хорошо налаженная служба прогноза и организованность населения.

Но и для Бангладеш можно сделать полезные выводы. При катастрофах в Западной Европе почти не бывает людских потерь. Это значит, что потери людей могут быть резко сокращены, если правительства стран анализируемой группы будут жестко ориентированы на меры увеличения безопасности жизнедеятельности людей. Вероятно, в этом направлении следовало бы сконцентрировать деятельность, проводимую ООН в порядке гуманитарной помощи.

3.2. Учет экономико-демографических особенностей района при оценке потерь

Приведенные в приложении результаты расчетов индекса потенциальных потерь удобно анализировать, если их изобразить на политической карте Мира, применив закрашку в соответствии со значением ISg . Такая карта приведена на рис. 2.

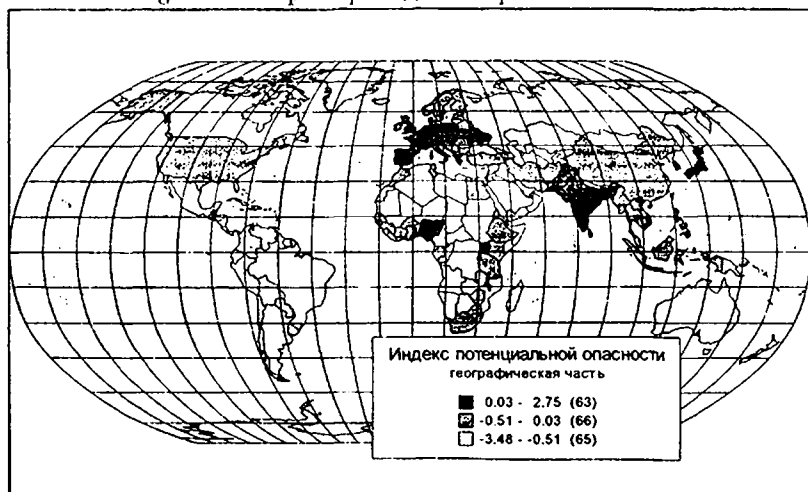


Рис. 2. Карта значений географической части индекса потенциальных потерь, по результатам расчета, приведенным в Приложении

Карта позволяет с новых позиций рассмотреть вопрос о величинах потерь, которые связаны с опасными природными явлениями. В соответствии с формулой (2.8), для получения правильного представления о величине материальных потерь, связанных с природной катастрофой, необходимо из значения индекса, рассчитанного по фактическим потерям (IS), вычесть значение географической составляющей (ISg). В результате получают значения индекса потенциальных потерь (ISc), свободные от экономико-демографических влияний и отражающие в основном роль ОЯП. Можно также считать, что при выполнении вычитания значение индекса приводится к базовым экономико-демографическим условиям. Как уже указано, такие условия сложились в КНР и США.

Поскольку при вычитании отрицательные значения географической части будут увеличивать значение (ISc), то может оказаться, что некоторые природные катастрофы в странах первой группы были даже мощней, чем в странах третьей группы. Продемонстрируем это с помощью введения поправок на ISg в табл. 1 крупнейших природных катастроф.

Эта табл. 1 после исключения ряда столбцов и введения столбцов для ISg и ISc приведена в табл. 4. Кроме значений индексов, в таблице даны фактические потери, чтобы можно было убедиться, что ранжирование по IS (оно приведено в табл. 1) полностью совпадает с ранжированием по величине потерь S .

В табл. 4 ранжирование проведено по значениям "очищенного" индекса ISc . Результат сравнения рангов оказывается очень поучительным. На первых местах по величине потерь оказываются теперь не наводнения, а землетрясения. Территории, подвергшиеся наибольшим природным катастрофам, оказываются странами первой и второй групп по ISg (КНР, США, Канада, Алжир, Мексика, Украина, Армения). Опасные явления природы в Бангладеш и Японии, нанешие огромные людские и материальные потери, с учетом высочайшей плотности населения в этих странах не могут считаться чрезмерно интенсивными. Потери в этом случае являются следствием экономических и демографических особенностей стран, а не интенсивностью опасных явлений природы.

Представляется, что указанное выше убедительно демонстрирует возможности применения IS_g для установления истинных масштабов влияния ОЯП на жизнь людей.

Таблица 4

Индексы потенциальных потерь для крупнейших природных катастроф за период 1975–1995 гг.

Страна	Катастрофа	S	IS	IS_g	IS_c	Ранг по IS	Ранг по IS_c
Китай	Землетрясение	66830	2,25	-0,05	2,3	1	1
Алжир	Землетрясение	3660	0,98	-1,11	2,09	22	2
Канада	Засуха	2500	0,82	-1,17	1,99	24	3
Мексика	Землетрясение	5770	1,18	-0,72	1,9	20	4
США	Пожары	25000	1,82	-0,07	1,89	5	5
Украина	Взрыв АЭС*	30010	1,9	0,06	1,84	4	6
Армения	Землетрясение	17330	1,66	-0,12	1,78	6	7
США	Землетрясение	17010	1,65	-0,07	1,72	7	8
США	Ураган	15010	1,6	-0,07	1,67	8	9
США	Наводнение	12010	1,5	-0,07	1,57	10	10
США	Ураган	11250	1,47	-0,07	1,54	11	11
США	Засуха	9000	1,37	-0,07	1,44	13	12
США	Ураган	8230	1,34	-0,07	1,41	14	13
Гватемала	Землетрясение	6860	1,26	-0,12	1,38	19	14
Чили	Землетрясение	1250	0,52	-0,82	1,34	35	15
США	Нефть (танкер)	7000	1,27	-0,07	1,34	17	16
США	Землетрясение	7020	1,27	-0,07	1,34	18	17
Китай	Наводнение	7320	1,28	-0,05	1,33	16	18
Украина	Взрыв АЭС	8010	1,32	0,06	1,26	15	19
Индия	Наводнение	13360	1,55	0,37	1,18	9	20
Япония	Землетрясение	41270	2,04	0,86	1,18	2	21
Югославия	Землетрясение	2730	0,86	-0,31	1,17	23	22
Бангладеш	Наводнение	36570	1,98	0,85	1,13	3	23
Иран	Наводнение	1670	0,64	-0,47	1,11	30	24
США	Ураган	2350	0,79	-0,07	0,86	25	25
Италия	Землетрясение	10790	1,45	0,72	0,73	12	26
Сальвадор	Землетрясение	1750	0,66	0,16	0,5	29	27
Венгрия	Засуха	2000	0,72	0,27	0,45	27	28
Пакистан	Наводнение	1760	0,67	0,25	0,42	28	29
Италия	Землетрясение	3850	1,01	0,72	0,29	21	30
Франция	Шторма	1540	0,61	0,44	0,17	31	31
Италия	Засуха	1500	0,6	0,72	-0,12	33	32
Бангладеш	Наводнение	2000	0,72	0,85	-0,13	26	33
Италия	Нефть (трубопровод)	1300	0,53	0,72	-0,19	34	34
Бангладеш	Наводнение	1510	0,6	0,85	-0,25	32	35

* по зарубежной оценке

4. ИЗМЕРЕНИЕ РАЗРУШИТЕЛЬНОЙ СИЛЫ КАТАСТРОФ

Все катастрофы и стихийные бедствия производят разрушения. Масштаб разрушений зависит от характера поражающих факторов, которые воздействуют на объекты, находящиеся в зоне их действия (например, затопление при наводнении или снежный завал от лавины), и от интенсивности опасного явления природы, которое приводит к образованию поражающих факторов (например, различная амплитуда землетрясения). Существует и зависимость масштаба разрушений от свойств самих объектов, подвергающихся воздействию (например, высотные здания, деревянные или саманные дома по-разному реагируют на частичное затопление). Зависимость потерь от состояния искусственных объектов региона или от готовности населения к прохождению ОЯП не относится к геофизической диастологии. Этот вопрос является предметом изучения в науке о безопасности жизнедеятельности.

4.1. Показатель разрушительной силы

Зависимость масштаба катастрофы от интенсивности опасного явления природы, порождающего разрушения объектов, подчеркнута уже в работе Н.В. Шебалина. Установление зависимости степени возможного разрушения от интенсивности ОЯП, безусловно, является одной из важнейших задач диастологии, но она может быть изучена только после того, как принято соглашение об измерении степени разрушений. Именно этому посвящен данный раздел.

В формуле (2.8), предназначенной для количественной оценки потерь, разрушительную силу катастроф описывает последнее слагаемое. В соответствии с его определением: $\lg E = \lg(\alpha/\alpha_0)$, оно представляет собой десятичный логарифм отношения коэффициентов материальных или людских потерь за год в районе катастрофы при ее наличии (α) и отсутствии (α_0). Коэффициенты потерь людей и материальных ценностей приняты в первом приближении одинаковыми. Снять это ограничение будет нетрудно.

Величина E (коэффициент поражения) показывает, во сколько раз разрушения при ОЯП превосходят естественную убыль населения или материальных ресурсов района. Она ограничена не только снизу значением $E = 1$, но и сверху, так как при полном уничтожении коэффициенты α_c и α_s уравнений (2.4) и (2.5) равны 1. Это зна-

чит, что для решения поставленной задачи измерения масштабов катастрофы следует начать с установления сопоставимой шкалы разрушений для разных поражающих факторов. Например, можно предположить, что землетрясение и торнадо, которые приведут в одном и том же по подготовленности районе к одинаковым по степени потерь последствиям, могут считаться одинаковыми по масштабу разрушений.

Значение величины $\lg E$ не может зависеть от характера поражающих факторов катастрофы, воздействующих на людей и материальные ценности, но зависит от интенсивности ОЯП. Таким образом, величина $\lg E$ характеризует степень потерь по сравнению с нормальными условиями. Ясно, что минимальное значение $\lg E$ равно нулю, когда число погибших при ОЯП людей в районе равно естественной смертности, а потеря материальных ценностей – установленным нормам амортизации капитала. При полных потерях ($\alpha_c = \alpha_s = 1$) значение величины $\lg E$ будет равно:

$$\lg Em = \max \{ -\lg(\alpha_c); -\lg(\alpha_s) \}.$$

Для конкретности в дальнейших оценках принято, что $\lg Em = -\lg(\alpha_c)$ и, по данным на 1980–1985 гг., смертность в мире составляет 11 чел. на 1000. При этом значение $\lg Em$ равно 1,9586. Так что без значительной ошибки можно считать, что при полном исчезновении людей или материальных ценностей из района в течение 1 года значение $\lg Em = 2$.

Отношение $\lg E / \lg Em = J_c$ в дальнейшем будет называться показателем разрушительной силы природной катастрофы. Оно характеризует, какую долю от максимально возможной в течение года ее разрушительная сила имеет в зоне действия*. Для обычных условий, когда статистический учет потерь относится к годовому периоду отчетности, значение этой величины изменяется от нуля до единицы.

Используя введенную характеристику и с учетом (3.1), приведем формулу (2.8) для индекса потенциальных потерь к виду

$$IS = ISg + \lg(S/S_0) + \lg(\tau/\tau_0) + 2J_c. \quad (4.1)$$

* Следует иметь в виду, что быстро текущие разрушительные процессы могут иметь значение J_c гораздо больше чем 2.

Правая часть выражения (4.1) показывает, что при изучении опасных явлений природы, с точки зрения геофизической дисастрологии, следует особое внимание уделить оценкам площадей воздействия и продолжительностей катастроф. Кроме того, для каждого вида катастрофы следует выделить поражающий фактор и найти зависимость поражающей способности J_c от характеристики, описывающей интенсивность этого фактора. А вот значение показателя разрушительной силы для всех катастроф должно быть измерено единообразно, например, в баллах. Тогда эту величину можно будет использовать в формуле (4.1) для расчета индекса потенциальных потерь, обеспечивая тем самым единый подход к определению эффекта разных природных катастроф и стихийных бедствий.

Как уже упоминалось, в некоторых отраслях геофизики были разработаны шкалы разрушений применительно к отдельным видам природных катастроф. Для землетрясений одним из примеров таких шкал является сокращенная Шейдеггером [4] шкала разрушений при землетрясениях Меркалли. Для смерчей существует и часто используется в разных странах шкала классификации их по интенсивности, принятая Метеорологической службой США. Интересно сопоставить эти шкалы, дополнив их широко известной шкалой измерения силы ветра в баллах Бофорта. Это можно сделать с помощью табл. 5.

При построении этой таблицы границы скоростей ветров немного изменены, чтобы улучшить согласование со скоростями ветров в смерчах. Это можно сделать, так как табл. 5 представляет собой только первую попытку получения совмещенной таблицы разрушений. В эту таблицу следовало бы включить еще, по меньшей мере, градации разрушений при пожарах и наводнениях. Вероятно, при расширении таблицы уточнятся и характеристики каждого балла разрушений.

Для дальнейшего важно, что анализируя эту таблицу, можно прийти к выводу, что интенсивность разных катастроф можно сравнивать по их разрушительной силе. Последнюю можно выразить в баллах, например, шкалы Меркалли–Шейдеггера, как показано в табл. 5. Если это сделать, то балл катастроф окажется универсальной мерой степени разрушений.

Таблица 5

Сопоставление шкал разрушений ветра, смерча и землетрясений

Скорость ветра, м/с	Категория смерчей	Баллы скорости ветра Бофорта	Шкала силы землетрясений Меркалли-Шейдеггера	Балл Меркалли-Шейдеггера	Показатель разрушительной силы катастрофы J_c , %	
					нелинейная аппроксимация	кусочно-линейная функция, $J_c=0,24(I_b-5,8)$, %
1	2	3	4	5	6	7
0...3	До начала шкалы	2 и менее	Регистрируется только приборами	1	0,0	0
3,5...5	До начала шкалы	3 – колышутся ветки, поднимается пыль	На верхних этажах слабое покачивание	2	0,0	0
5,5...8	До начала шкалы	4 – поземка из песка	В домах качаются люстры	3	0,0	0
8...10,5	До начала шкалы	5 – качаются тонкие стволы деревьев	Вибрация как от грузовика	4	0,0	0
11...13,5	До начала шкалы	6 – качаются толстые сучья	Ощущается вне домов всеми	5	0,0	5
14...16,5	До начала шкалы	7 – все деревья сильно раскачиваются, трудно ходить, начинаются песчаные бури	Дрожание домов ощущается всеми	6	4,8	29
18...32	F0 – слабые разрушения, повреждаются трубы, заборы	8...11 – шторм, многочисленные повреждения	Повреждаются дома	7	48,1	53
33...49	F1 – умеренные разрушения, срываются покрытия с крыш, сносит автомобили с дороги	12...15 – ураган, сильные повреждения и разрушения	Разрушаются слабые дома	8	76,2	77

Окончание табл. 5

1	2	3	4	5	6	7
50...69	F2 – срыва- ются крыши, вырывают- ся деревья	15...17	Разрушаются дома обычного типа	9	90,1	100
70...92	F3 – силь- ные повре- ждения и разрушения крыш, стен, тяжелые вагоны перевора- чиваются	Не продол- жается	Общее разрушение зданий	10	96,1	100
93...116	F4 – опус- тошитель- ные разру- шения, разрушают- ся тяжелые дома	Не продол- жается	Гнутся рельсы	11	98,5	100
117...142	F5 – сверх- опустоши- тельные разрушения, поднима- ются тяже- лые дома	Не продол- жается	Полное разрушение зданий	12	99,4	100

Тогда можно от визуальной характеристики разрушений перейти к количественной оценке последнего слагаемого в формуле (4.1). Из таблицы видно, что ощутимые разрушения начинаются только тогда, когда явление достигает 6 баллов по шкале Меркалли–Шейдеггера. Приняв за ноль уровень разрушений примерно при такой интенсивности и учитывая, что разрушения при 10 и более баллах уже практически полные, т.е. одинаковы по экономическим последствиям, можно получить аппроксимационную формулу для перевода балла разрушительной силы в показатель поражающей способности J_c . Такая формула имеет вид

$$Jc = th[(Jb - Jb0) + (|Jb - Jb0|)/2c] \approx \begin{cases} 0 & Jb < 6 \\ 0,24(Jb - 5,9) & 5,9 < Jb < 10 \\ 1 & Jb > 10 \end{cases} \quad (4.2)$$

По этой формуле показатель разрушений будет вычислен в долях единицы. В ней введено обозначение Jb для балла разрушений по шкале Меркалли–Шейдеггера, а также два нормирующих параметра: $Jb0$, выбранный равным 5,9, и c , равный 2,1. Значения показателя разрушений при этих параметрах приведены в 6-м столбце табл. 5. Для простых оценок можно использовать кусочно-линейную формулу. Хотя, как видно из сравнения столбцов 6 и 7, она дает слишком резкое нарастание разрушений при больших баллах.

4.2. Сравнение разрушительной силы природных катастроф

Использование формулы (4.2) позволяет рассчитать индекс потенциальных потерь IS по формуле (4.1), используя только информацию об опасном явлении природы. В самом деле, эта формула примет вид

$$IS = ISg(\phi, \lambda) + ISc. \quad (4.3)$$

$$ISg(\phi, \lambda) = \lg\{\alpha_{\phi\lambda} [1 + B/B_0]/1500\}. \quad (4.4)$$

$$ISc = \lg(S/S_0) + \lg(\tau/\tau_0) + 2th[(Jb - 5,9) + (|Jb - 5,9|)/4,2]. \quad (4.5)$$

Величина $ISg(\phi, \lambda)$ представляет собой функцию только географических координат, так как она описывает влияние на потери от катастрофы экономических и демографических особенностей района или страны. Величина ISc представляет главные характеристики природных катастроф: площадь распространения S , продолжительность τ и разрушительную способность Jb в баллах. Все эти данные можно собрать используя только хорошо документированные данные о ранее пережитых человечеством природных катастрофах и стихийных бедствиях и достижения отраслей геофизики, изучающих конкретные опасные явления природы.

Интересно провести сравнение наиболее известных ОЯП по степени опасности на основе этого индекса. Такие оценки приведены в табл. 6. Они получены по искусственно сконструированным данным. Например, субъективными являются оценки разрушитель-

ной силы наводнения и засухи. Вместо грозы взяты оценки для града, причем учтено, что по определению, оценки должны быть отнесены к площади 1000 км², а площади градобитий редко достигают таких размеров. Однако результаты ранжирования по полученным индексам *ISc* вполне согласуются с общепринятыми оценками. Таблица показывает, что наиболее опасные для человечества катастрофы – это те, которые имеют большую длительность и площадь распространения, т.е. засуха, наводнение, лесной пожар. Землетрясение может быть очень опасным, только если происходит в районе расположения городов. Но учет повышенной концентрации городского населения в формуле для индекса *ISg* пока не произведен.

Таблица 6

Индекс потенциальных потерь для основных ОЯП

Опасное явление природы	Характерный линейный размер, км	Продолжительность		Площадь (в тыс. км ²)	Предельные разрушения, баллы	$\lg(S/S_0)$	$\lg(\tau/\tau_0)$	<i>2Ic</i>	<i>ISc</i>
		в часах	в годах						
Град/гроза	1	1	1,14E-04	1,00E-03	6	-3	-3,9	0,1	-6,8
Лавина	1	0,1	1,14E-05	1,00E-03	9	-3	-4,9	1,8	-6,1
Торнадо	1	1	1,14E-04	1,00E-03	11	-3	-3,9	2	-4,9
Оползень	10	1	1,14E-04	1,00E-01	10	-1	-3,9	1,9	-3
Землетрясение	100	0,1	1,14E-05	1,00E+01	12	1	-4,9	2	-1,9
Ураган	100	10	1,14E-03	1,00E+01	9	1	-2,9	1,8	-0,1
Наводнение	1000	240	2,74E-02	1,00E+03	8	3	-1,6	1,5	2,9
Лесной пожар	1000	240	2,74E-02	1,00E+03	10	3	-1,6	1,9	3,3
Засуха	1000	26280	3,00E+00	1,00E+03	6	3	0,5	0,1	3,6

5. ОСОБЕННОСТИ И СИСТЕМАТИЗАЦИЯ ОПАСНЫХ ЯВЛЕНИЙ ПРИРОДЫ С ПОЗИЦИЙ ДИЗАСТОЛОГИИ

В дальнейшем изложении уже не обойтись без рассмотрения конкретных опасных явлений природы, вызывающих природные катастрофы и стихийные бедствия. Специалист по расчету и прогнозу таких явлений должен знать их все и о каждом иметь достаточные для работы сведения. Однако перечень таких ОЯП очень длинен, а сведения, которые могут понадобиться в работе, многообразны и охватывают почти весь диапазон знаний современной геофизики. Поэтому полезно предварить описание ОЯП выявлением необходимого набора сведений о них. Для этого неизбежно следует применить какую-либо систематизацию. Поскольку характер систематизации зависит от ее целей, то примем за основу требование включать в описание ОЯП только те сведения, которые могут быть полезны при оценке потенциального ущерба от его возникновения в некотором районе.

5.1. Система, состояние, состав. Типы катастроф

Как уже было сказано, катастрофы являются нештатным режимом функционирования системы "машины – человек – окружающая среда". Изучением систем занимается целый ряд наук, которые можно объединить под общим названием "тектология"^{*}, или системный анализ. В соответствии с требованиями этой отрасли наук, система должна быть отделена от внешней среды границей, должна иметь состав (каждая система состоит из компонент) и структуру (компоненты системы связаны друг с другом определенными отношениями, т.е. между компонентами установлены связи). Границы систем, как правило, определить легко. Составом и структурой каждой системы занимается изучающая ее ветвь наук. Если меняется состав компонент, то она превращается в другую систему, т.е. исчезает. Если система теряет структуру, то это означает, что она разрушается. Если внутри системы у компонент возникают новые связи (образуется внутренняя структура), то этот процесс способствует образованию внутренних границ системы и также является распадом.

^{*} Этот термин предложил в начале XX в. русский ученый и политический деятель А.А. Богданов

Опасные явления природы для всех биологических, социальных и технических систем являются проявлениями воздействия на них среды. При таких воздействиях среда может менять состав (например, в результате загрязнения), может разрушаться (например, в результате обвалов или осыпей), наконец, в ней могут образовываться внутренние структуры (например, смерчи). Впервые на это различие в типах изменения внешней среды, которые нужно учитывать при организации функционирования искусственных систем в нештатных ситуациях, обратил внимание В.Н. Шебалин.

Он писал, что катастрофы могут быть трех типов. Во-первых, они могут быть вызваны скачкообразным переходом природной среды из одного устойчивого состояния в другое (транзитивные катастрофы). Во-вторых, они могут происходить вследствие распада внутренних связей окружающей объект среды (деструктивные катастрофы). В-третьих, они могут быть вызваны образованием в среде внутренних подсистем, которые могут оказать на объект мощное поражающее воздействие (структурирующие катастрофы).

Примерами транзитивных катастроф являются опускания участков суши вблизи побережий или образование густых туманов зимой. Примерами катастроф деструктивного типа являются обвалы, оползни, обрушение берегов. Примерами структурирующих катастроф являются интенсивные атмосферные вихри такие, как ураганы или торнадо. К таким катастрофам можно отнести также и сели.

Интересно, что указанные типы изменения систем изучаются в теоретической физике разными разделами. Например, в теории динамических систем пользуются таким определением: "катастрофами называются скачкообразные изменения, возникающие в виде внезапного ответа системы на плавное изменение внешних условий". Преобразования состояния систем, связанные с разрушением внутренних связей, являются предметом термодинамики необратимых процессов. Самопроизвольное возникновение локальных структур в однородных средах изучает синэргетика.

Все сказанное значит, что тип изменения окружающей среды, приводящий к опасному явлению и далее к катастрофе, является важной информацией.

5.2. Геосферы – источники природных воздействий

Существуют разные способы классификации причин природных катастроф. Однако для того чтобы сформулировать в дальнейшем их определения, представляется наиболее удобным сначала рассмотреть физическое состояние вещества среды, в которой развиваются природные явления. Любое вещество, как известно из физики, может находиться в четырех видах состояния (твердое, жидкое, газообразное и плазма). В природе все эти состояния присущи веществу, образующему нашу планету. Под влиянием гравитации вещество организовано геометрически в виде концентрических областей, называемых обычно геосферами.

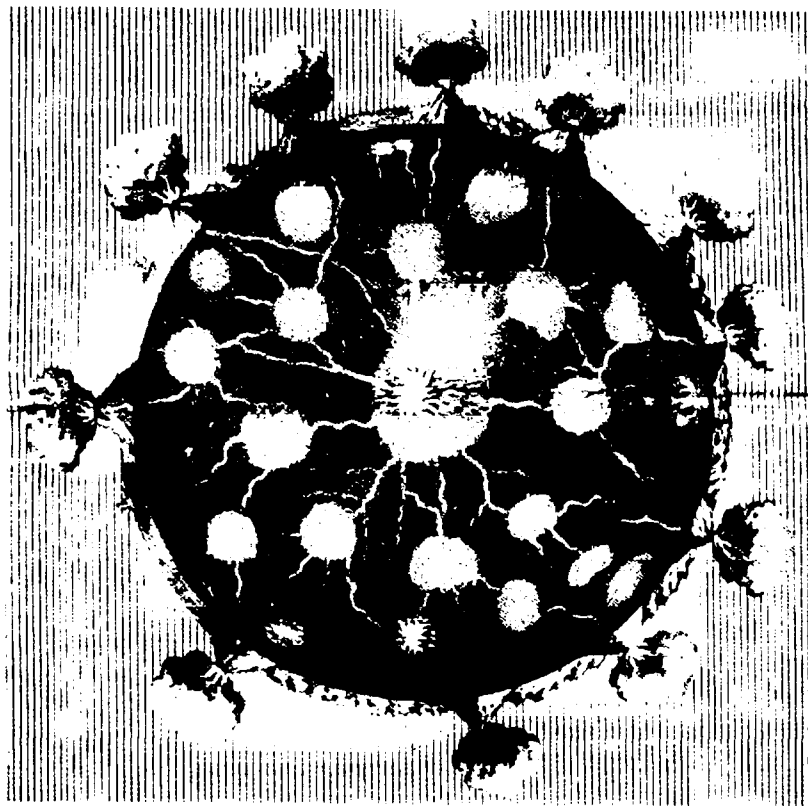


Рис. 3. Схематичное изображение геосфер Земли.

Схематически геосферы показаны на рис. 3. Вещество каждой из геосфер находится в различном физическом состоянии. Считая от центра Земли, первой геосферой является твердое внутреннее ядро. Его окружает жидкое основное ядро. Вещество в нем обладает высокой электропроводностью, и в нем постоянно циркулируют круговые электрические токи, которые, по-видимому, являются генератором магнитного поля Земли. Характер функционирования этого генератора может меняться, что приводит к скачкообразной смене магнитной полярности.

Жидкое ядро окружено мантией, вещество в которой находится в твердом, пластичном состоянии. Механические напряжения в мантии неоднородны. Срывы напряжений могут приводить к колебаниям всей толщи Земли выше мантии. Выше мантии располагается астеносфера, сильно разогретая за счет выделения тепла от радиоактивного распада неустойчивых изотопов, рассеянных в ее массе. Местами температура там достигает точки плавления вещества. Там образуются очаги магмы.

Вещество астеносферы еще более пластично и подвижно, чем вещество мантии, поэтому возникающие напряжения быстро исчезают, вызывая деформации слоя, покрывающего астеносферу. Этот слой называется литосферой. Вещество в нем находится в твердом кристаллическом состоянии.

Вещество литосферы подвергается различным преобразованиям. Самыми грандиозными из них являются движения, которые называются тектоническими. Тектонические движения принято подразделять на две основные группы: колебательные и дислокационные. Тектонические движения являются результатом перераспределения напряжений вещества литосферы. Напряжения возникают в результате локальной разгрузки участков литосферы, разуплотнения ее, выветривания и других процессов, в частности связанных и с деятельностью человека.

Изменения напряжений вызывают дислокации (трещины, разрывы), которые разрывают литосферу на отдельные части (фракции), разной дробности. Самые крупные куски литосферы – это платформы. На некоторых из них располагаются континенты. Более мелкие части называются литосферными блоками. Все эти части, плавая по астеносфере, испытывают горизонтальные и вертикаль-

ные перемещения. Под влиянием этого создаются особенности геологического строения районов.

Впадины литосферы заполнены веществом в жидком состоянии, которое на Земле представляет собой водные растворы различной концентрации. Вода является главным естественным растворителем. Она вступает в химическое взаимодействие с веществом литосферы, в результате которого на поверхности литосферы, во-первых, образуется новый твердый осадок – вещество, образующее кору выветривания (например, глины), а во-вторых, в воде накапливаются растворимые соли. Вещество коры выветривания находится в сыпучем или пластичном состоянии и сравнительно легко перемещается под воздействием внешних сил.

Над океанской и континентальной частями литосферы происходит растворение водой различных веществ. Поэтому состав растворов оказывается разным. Так образуются две основные водные массы гидросферы Земли – пресная вода суши и соленая вода океана (названия воды отражают только вкусовые реакции человека на химический состав вод). Химически чистая вода на Земле может появляться только в результате конденсации водяного пара в атмосфере.

Атмосфера представляет собой оболочку Земли, окружающую литосферу и гидросферу, состоящую из смеси газов вулканического и органического происхождения, и водяного пара термодинамического происхождения. Нижняя часть атмосферы, в которой происходят активные процессы термодинамического цикла водяного пара, называется тропосферой. Средняя часть атмосферы, в которой происходит важнейшая фотохимическая реакция – образование озона, называется стратосферой. В обеих этих частях атмосферы соотношение газов в газовой смеси, которую принято называть воздухом, является постоянным. Выше стратосферы преобладают процессы гравитационного разделения газов, состав атмосферы становится переменным, и она представляет собой смесь разреженных и ионизированных газов – ионосферу.

Вблизи земной поверхности в обычных условиях плазма не встречается. Но выше ионосферы концентрация газов очень мала, а ионизация почти полная. Эти условия характерны для радиационных поясов Земли, которые принято называть магнитосферой.

Деятельность человека протекает, главным образом, на границах коры выветривания литосферы, гидросферы и атмосферы. Кроме то-

го, на Земле в естественных условиях не встречаются химически чистые вещества. Поэтому можно в данном тексте относить термин "твердое вещество" к природным смесям веществ как неорганических, так и органических или составных (городские постройки), а также к смесям со льдом и, конечно, к самому льду. Твердое вещество на Земле, в зависимости от вида, может быть горючим и негорючим. Оно может находиться вблизи температуры плавления (лед) или вблизи температуры возгорания (живое или ископаемое органическое вещество: дерево, нефть, газ, уголь). Свойства твердого вещества земной коры изучаются в геологии, оно называется грунтом.

Твердое вещество может находиться в состоянии разной раздробленности. Самой крупной фракцией следует считать блоки. При изучении катастроф к ним можно отнести не только литосферные блоки, но и ледники, леса, саванны. Они имеют подвижные границы, вдоль которых происходит их более или менее медленное движение или химические или физические преобразования. Например, горизонтальное движение, подъем или опускание литосферных плит или слоев грунта, таяние или подвижки ледников, горение лесов во время пожаров. Внутри блоков происходит образование трещин или пустот. Перемещение плит происходит медленно, по сравнению с продолжительностью жизни человека, поэтому подвижки блоков неестественны для человека. Такие состояния являются источником опасности и могут приводить к природным катастрофам.

Классом ниже блоков является фракция твердого вещества, которую можно назвать массивами. К ним относятся глыбы скального грунта или льда – айсберги. Главный процесс, связанный с катастрофами от массивов, – это их перемещение. Говоря о перемещении, следует различать собственное движение (далее – просто движение), например, падение глыб, и транспортировку глыб движущейся средой, например, плавание айсбергов.

Еще более мелкой фракцией твердого вещества являются обломки. К ним относятся камни и мелкие льдины. Катастрофы возникают при накоплении обломков или их перемещении. Перемещение обломков, как и глыб, может происходить, например, в виде камнепадов в горах) или за счет транспортировки (перенос льда течением реки). Накопление может возникать только за счет перемещения.

Наконец, самыми мелкими частицами твердого вещества можно считать песчинки или снежинки. Катастрофы возникают за счет

движения, транспортировки, а также при накоплении или образовании на месте (замерзание льда).

Жидкое вещество на Земле также может быть неоднородно по физическому составу. С точки зрения геофизической диастологии, можно выделить лаву, грязь, воду, капли. Природные катастрофы возникают при движении этих геофизических жидкостей, при их накоплении (наводнения) или, напротив, недостатке (засухи), а также под воздействием их физических или химических свойств (возгорание попавших под лаву построек, непроходимость дорог вследствие образования грязи (распутица) или замерзания (обледенение). В силу большого содержания воды, все природные растворы находятся вблизи точки смены фазового состояния (0°C).

В газообразном состоянии обычно наблюдаются смеси природных газов с атмосферным воздухом, которые в дальнейшем именуется просто воздухом. Смеси воздуха с мельчайшими фракциями твердой фазы или воды, играющие большую роль в возникновении катастроф, можно, хотя и не очень строго, назвать аэрозолями. К ним относятся: смесь воздуха и песка (пыль, снежная пыль, воздух тумана) и водяных облаков (смесь капель и воздуха), воздух дождевых облаков (смесь снежинок, капель и воздуха). Катастрофы возникают при образовании этих смесей (туман, смог), при движении их (пыльная буря, метель), а также при их самоликвидации (выпадение осадков).

Нельзя не отметить, что даже в отсутствии взвесей воздух может вызывать катастрофы. Во-первых, это происходит при быстром движении (ветер), а во-вторых, за счет изменения физических свойств (похолодание или потепление, увлажнение или высыхание).

Сведения о геосфере, в которой возникает предпосылка опасного природного явления, являются важной информацией, так как для каждого из них существует особый набор физических параметров, которые описывают его состояние. Состояние разных геосфер регистрируется разными сетями наблюдений. Измеренные значения этих параметров позволяют отделить нормальное состояние от аномалий и оценить степень аномальности состояния. Это важно, так как человечество выработало много разных приспособлений к изменениям состояния среды, и только значительные аномалии могут быть источником опасности.

5.3. Виды природных воздействий

Кроме геосферы – источника опасного явления природы, следует знать, какие геофизические процессы привели к его образованию. Поскольку обычно ОЯП являются результатом взаимодействия нескольких процессов разных пространственно-временных масштабов, то и сведения о них следует излагать в определенной последовательности.

Сказанное можно пояснить примером разбора причин наводнения в районе г. Ленска весной 2001 г. Это наводнение произошло в результате повышенного притока вод в район за счет аномально интенсивного снеготаяния выше по течению, которое сопровождалось сильным образованием заторов ниже по течению. Усиленный приток талых вод был вызван: во-первых, повышенным количеством дождей осенью 2000 г. в предледоставный и ледоставный периоды, во-вторых, суровой зимой с повышенным, по сравнению с нормой, количеством выпавшего снега, в-третьих, ясной и теплой погодой в период ледохода в верховьях Лены весной 2001 г.

Рельеф в районе Ленска способствует систематическому образованию заторов: уклон дна резко уменьшается, долина реки сужается и делает крутой поворот. Метеорологические условия способствовали образованию заторов весной 2001 г. Лед на реке был толстый, так как зима была холодной. В период ледохода в верховьях Лены среднесуточная температура воздуха в районе Ленска была относительно низкой и колебалась, вследствие чего днем лед на реке таял, а ночью восстанавливался. Таким образом, в период ледохода в Ленске сложились очень благоприятные условия для аномально сильного притока воды и длительного существования мощных заторов льда. Именно это и вызвал резкий и аномально высокий подъем воды, т.е. наводнение.

Этот пример демонстрирует важность систематизации при изложении фактов, касающихся опасных явлений природы. Прежде всего, нужно дать определение сути ОЯП. Следует указать, какие причины привели к локализации ОЯП в заданном районе. Нужно объяснить, что привело к возникновению этих причин (как правило, при этом указываются условия, сложившиеся в географическом регионе, охватывающем район возникновения ОЯП). Эти условия обычно оказываются аномалиями естественных процессов планетарного масштаба, т.е.

складываются за время, сравнимое с сезоном, а в пространстве – с площадью естественных синоптических районов.

5.4. Поражающие факторы природных воздействий

При рассмотрении опасного явления природы важно указывать те факторы, которые создают опасность для людей и материальных ценностей. (В случае Ленского наводнения этим фактором было затопление.) Такие факторы в дальнейшем будем называть поражающими. Гидрометеорологические наблюдения фиксируют не возникновение опасности, а достижение какой-либо из наблюдаемых величин критических значений. Длительная практика гидрометеорологического обеспечения хозяйственной деятельности привела к тому, что был отработан список значений океанологических, гидрологических и метеорологических характеристик, достижение которых по определению является особо опасными явлениями. В настоящее время в официальных документах их называют также "стихийными гидрометеорологическими явлениями". Однако перечень поражающих факторов, которые превращают эти явления в источники опасности, известен гидрометеорологам недостаточно точно.

Полный список критических значений гидрометеорологических величин приведен в нормативных документах. Выдержки из [5] даны в табл. 7.

Таблица 7

Типовой перечень опасных природных гидрометеорологических явлений

№ п/п	Вид опасного явления природы	Определение
1	2	3
1	Сильный ветер	Скорость ветра (считая порывы) – не менее 25 м/с, на акватории оканов, арктических и дальневосточных морей – не менее 30 м/с, на побережьях морей и в горах – не менее 35 м/с
2	Смерч	Сильный вихрь с приблизительно вертикальной осью, имеющий вид темного столба или воронки, направленной от облака к поверхности земли (воды)
3	Очень сильный дождь	Выпадение за 12 часов не менее 50 мм осадков (в горах – более 30 мм)
4	Сильный ливень	Выпадение не более чем за 1 час не менее 30 мм осадков
5	Очень сильный снег	Выпадение за 12 часов не менее 20 мм осадков в зимнее время
6	Продолжительные сильные дожди	Выпадение не менее 100 мм осадков за период более 12 ч, но менее 48 ч
7	Крупный град	Осадки в виде частиц плотного льда диаметром не менее 20 мм

1	2	3
8	Сильная метель	Перенос снега над поверхностью земли ветром со средней скоростью не менее 15 м/с, понижающий видимость до 500 м и менее
9	Сильная пыльная буря	Перенос больших количеств пыли или песка над поверхностью земли ветром со средней скоростью не менее 15 м/с, понижающий видимость до 500 м и менее
10	Сильное гололедно-изморозевое отложение на про- водах	Замерзание переохлажденных капель дождя на поверхности земли и на предметах с образованием слоя льда
11	Сильный туман	Сильное помутнение воздуха, вызванное взвешенными каплями воды, с видимостью не более 50 м (на море – менее 100 м)
12	Сильный мороз	В период с ноября по март минимальная температура достигает опасных значений для заданного района
13	Сильная жара	В период с мая по август максимальная температура достигает опасных значений для заданного района
14	Чрезвычайная пожароопасность	Показатель пожарной опасности (сумма произведений температуры воздуха на значение дефицита точки росы в 15 ч, определяемая за все дни, считая от последнего с осадками не менее 3 мм) превышает 10 000
15	Сход лавины	Масса снега, падающая или сползающая с горных склонов и увлекающая на своем пути новые массы снега
16	Заморозки	Понижение температуры воздуха или поверхности почвы до отрицательных значений при положительной среднесуточной температуре в период активной вегетации сельскохозяйственных культур, приводящее к их повреждению
17	Переувлажнение почвы (подтопление территории, заболачивание)	Образование участков, нормальной эксплуатации которых препятствует либо малая глубина залегания подземных вод, либо слабая проточность, или застой воды в поверхностных горизонтах грунта
18	Суховей	Сохранение в течение трех и более дней подряд хотя бы в один из сроков наблюдений каждого дня значений относительной влажности не более 30% при скорости ветра более 7 м/с и температуре выше 25°C в период цветения, налива, созревания зерновых культур
19	Засуха атмосферная	Отсутствие эффективных осадков (более 5 мм в сутки) в вегетационный период года не менее 30 дней подряд при максимальной температуре выше 25°C (в южных районах – выше 30°C)
20	Засуха почвенная	В вегетационный период года не менее 30 дней подряд запасы продуктивной влаги в слое почвы 0–20 см составляют не более 10 мм
21	Половодье	Ежегодный подъем уровня воды до отметок обеспеченностью менее 10%

1	2	3
22	Зажор	Скопление шуги и внутриводного льда во время осеннего ледохода и в начале ледостава, создающее стеснение русла на отдельном участке реки и вызывающее подъем уровня воды до отметок обеспеченностью менее 10%
23	Затор	Скопление льда во время ледохода, создающее стеснение русла на отдельном участке реки и вызывающее подъем уровня воды до отметок обеспеченностью менее 10%
24	Паводок	Быстрый подъем уровня воды до отметок обеспеченностью менее 10%, возникающий нерегулярно
25	Сель	Паводок с очень большим (до 75% общей массы) содержанием минеральных частиц и обломков горных пород, характеризующий продвижением лобовой части в форме вала из воды и наносов большой разрушительной силы
26	Низкая межень	Понижение уровня воды в водоеме ниже навигационных уровней и проектных отметок водозаборных сооружений
28	Цунами	Опасная волна, приводящая к затоплению прибрежных населенных пунктов, береговых сооружений и других хозяйственных объектов
30	Сильное волнение	Высота волн достигает значений, признаваемых в данном районе опасными для мореплавания, промысла и сооружений (в прибрежных районах высота волн не менее 4 м, в открытом море – не менее 6 м, в океане – не менее 8 м)
31	Обледенение судов	Отложение льда на частях воздушных или морских судов, а также на проводах и других объектах
32	Нагонные явления	Уровень воды выше опасных отметок, при которых затопляются населенные пункты, береговые сооружения и объекты
33	Тягул	Горизонтальные колебания пришвартованных судов, вызванные колебанием воды в портовой акватории
34	Раннее появление льда	Появление ледяного покрова или припая в ранние сроки повторяемостью не чаще 1 раза в 10 лет
35	Интенсивный дрейф льда	Дрейф льдин со скоростью не менее 1 км/ч
36	Сжатие льда	Сжатие льда с интенсивностью 3 балла
38	Опасное появление льда	Появление льда, не проходимого судами и ледоколами в период навигации на судовых трассах и в районах промысла
39	Опасность отрыва льда	Опасность отрыва прибрежных льдов в местах выхода людей на лед
40	Навалы льда	Нагромождение льдин на берегах
41	Резкое ухудшение радиационной обстановки	Проникновение опасных волн космического и солнечного излучения к поверхности Земли
42	Резкие изменения ионосферы (магнитная буря)	Быстрые и сильные колебания характеристик земного магнетизма, резко нарушающие его плавный суточный ход и продолжающиеся несколько часов и даже дней

Отметим важную особенность приведенного перечня. Ряд критериев относится к экстремальным значениям одного физического параметра (скорости ветра, температуры, интенсивности и вида осадков, видимости, уровня воды, наличия льда, волнения, обледенения). Но значительная группа критериев представлена названиями самих ОЯП (метель, пыльная буря, суховей, пожарная опасность, сели, лавины, тропические циклоны, цунами, тягун). Это имеет место потому, что некоторые из ОЯП представляют собой совокупность экстремальных значений нескольких физических параметров, которые одновременно превосходили критические пороги. Например, тропический циклон представляет собой область, в которой имеет место превышение критериев по скорости ветра, по интенсивности осадков и возникают волны высотой более 8 м. Отсюда следует, что прогнозируя названное ОЯП, мы ожидаем ситуацию, когда возникает несколько природных поражающих факторов (сильный ветер, сильный дождь и особо опасное волнение).

Следует иметь в виду, что перечисленные критерии ОЯП относятся в Российской Федерации к особо опасным только в тех случаях, когда они могут достигать указанных критериев на территории не менее одной трети субъекта федерации (области, края, республики или города с населением не менее 100 тыс.), или нескольких административных районов с интенсивным сельским хозяйством (промышленностью), а также акватории моря (крупного порта). При этом продолжительность явления должна быть не менее 6 ч (точное значение не прогнозируется). Время прохождения или возникновения ОЯП указывается с точностью до половины дня или ночи.

Значения критериев ОЯП могут быть уточнены в конкретных географических районах с учетом их повторяемости и влияния на производственную деятельность отдельных отраслей хозяйства (горнодобывающая промышленность, добыча нефти, чувствительность возделываемых в районе сельскохозяйственных культур или видов животноводства). Все уточнения проводятся только при согласовании с правительственными органами.

5.5. Подход к систематизации сведений об ОЯП

Изложенное выше приводит к выводу о том, что, занимаясь прогнозированием опасных явлений природы, специалист должен знать следующий круг вопросов:

- 1) определение опасного явления природы;
- 2) параметры состояния геосфер, особенно те, которые участвуют в определении ОЯП;
- 3) физические процессы, формирующие знак изменения параметров состояния;
- 4) факторы, которые содействуют сохранению знака изменения состояния в течение достаточного для образования ОЯП времени;
- 5) условия, содействующие усилению тенденции к росту и ослаблению тенденции к убыванию параметров состояния, влияющих на ОЯП;
- 6) условия совмещения благоприятных для ОЯП тенденций разных параметров состояния и их взаимного усиления, что создает экстремальную геофизическую ситуацию;
- 7) ожидаемые значения параметров ОЯП, превращающихся в поражающие факторы и оценку интенсивности возможной природной катастрофы;
- 8) географическую локализацию возникающей экстремальной геофизической ситуации, вероятностные характеристики ее перехода в ОЯП в рассматриваемом регионе;
- 9) характерные пространственно-временные масштабы ОЯП;
- 10) возможный ущерб при переходе ОЯП в природную катастрофу.

В кратком описании ОЯП, приведенном ниже, сделана попытка осветить этот круг вопросов. Для каждого рассматриваемого явления приведены такие сведения:

- название ОЯП в соответствии с общепринятой терминологией;
- определение по справочникам или словарям дисциплины, изучающей явление;
- описание экстремальной геофизической ситуации, предвещающей возникновение ОЯП;
- краткая характеристика причин, которые вызвали эту ситуацию;
- процесс, который может явиться поводом для возникновения ОЯП;
- условия в районе, которые благоприятствуют развитию ОЯП;
- вторичные ОЯП, которые могут развиваться благодаря рассматриваемому;
- виды разрушений, которые может причинить ОЯП.

Первые пункты приведенного списка сведений не вызывают затруднений. Следует указать, что в качестве источников определений были использованы классические справочники по нужным дисциплинам [6, 7, 8, 9].

Для того чтобы конкретизировать термин "экстремальная геофизическая ситуация", можно воспользоваться уже применяемыми определениями. Так, согласно гидрологическому словарю А.И. Чеботарева [8], катастрофический паводок – это "...паводок (половодье) редкой повторяемости...". В справочнике [6]: "катастрофическая лавина". 1. Лавина редкой повторяемости... 2. Лавина, вызвавшая значительный материальный ущерб". Там же указано, что значительная селеактивность определяется как сход селей не реже одного раза в 3–5 лет. Все это наталкивает на мысль, что при опасном явлении погоды возникают условия, которые не возникают ежегодно. Иначе говоря, за экстремальную геофизическую ситуацию (ЭГС) можно принять природные условия, характерные для среднего многолетнего экстремума (максимума или минимума в зависимости от вида ОЯП), того параметра (параметров) состояния, который (-ые) определяет (-ют) ОЯП в изучаемом районе.

Такое определение имеет и социально-экономическое обоснование. Люди, населяющие район, обязательно создают себе условия существования, защищающие их от обычно встречающихся экстремумов состояния окружающей среды.

Принятое определение экстремальной геофизической ситуации (ЭГС) позволяет единообразно отвечать на вопрос, поставленный в п. 4 вышеприведенного списка. Причины ЭГС – это процессы, формирующие обычно ежегодные экстремумы параметров состояния природы.

Для того чтобы правильно описать пункты 4, 5 и 6, удобно при анализе каждого явления учесть основные положения теории составления динамических систем, использованной при исследовании проблем глобальной динамики. Согласно этим принципам проектирования систем¹, их состояние описывается параметрами, которые называются уровнями (переменными) и темпами (скоростями изменения переменных).

¹ Этот метод математического моделирования получил название "построение резервуарных моделей". Дж. Форрестер. Мировая динамика. М.: Наука, 1978. – 264 с.

Используя резервуарные модели, рекомендуется выделять темпы двух родов – положительные и отрицательные. Первые приводят к росту уровней, вторые к убыванию. Зависимости между темпами и уровнями описываются системами нелинейных обыкновенных дифференциальных уравнений, представляющих структуру системы и обратные связи. Обратные связи по Форрестеру моделируют наличие усилителей в системе. Подходя с этой точки зрения к анализу образования ЭГС, следует отдельно описать процессы, благоприятные для роста уровня, и процессы, способствующие уменьшению уровня.

Понятно, что выход значения уровня за пределы среднего экстремума может быть связан с тем, что темпы роста и убывания оказались несбалансированными. В обычных условиях при экстремальных значениях параметра состояния, характеризующего ОЯП, темпы, благоприятные для развития ОЯП, оказываются меньше, чем темпы, благоприятные для демпфирования. Выявление причин сохранения благоприятных для развития ОЯП темпов, или, наоборот, причин для ослабления демпфирования – вот что составляет основную задачу при заполнении п. 5.

Перейдя к заполнению п. 6, рекомендуется сопоставить геотектонические, геологические, геоморфологические, геокриологические и гидрогеологические характеристики районов с большими и меньшими повторяемостями и интенсивностями исследуемого ОЯП. Напомним, что геотектоника позволяет оценить активность эндогенных процессов в изучаемом районе. Геологические свойства – это характер грунтов (скальные или дисперсные), их физические и химические свойства, структура и текстура. Геоморфологические свойства – это высота, уклон и строение рельефа района. Геокриологические свойства – это глубина промерзания грунтов и их реакция на размораживание. Наконец, гидрогеологические свойства района – это сведения о режиме подземных вод и влагонасыщенности грунтов. Все эти свойства могут, конечно, не одновременно, но часто сочетаясь, усилить благоприятные для развития ОЯП тенденции или ослабить демпфирующие.

Пункты 7 и 8 списка информации об ОЯП, которую должен иметь прогнозирующий специалист, понятны и могут быть заполнены с помощью учебной и методической литературы.

6. ПЕРЕЧЕНЬ И ХАРАКТЕРИСТИКИ ОПАСНЫХ ЯВЛЕНИЙ ПРИРОДЫ

Перечень природных катастроф очень велик. Невозможно в одном учебном курсе достаточно полно описать физические, математические и географические их особенности. Для получения исчерпывающих описаний следует обращаться к учебникам и учебным пособиям по дисциплине, изучающей причины этих явлений. Для удобства ориентации в этих дисциплинах все ОЯП сгруппированы по разделам наук и классам процессов, изучаемых в этих разделах. Ввиду того, что ряд явлений относится к стыку наук, разбиение не является общепринятым. Идентификаторы классов и разделов приведены в табл. 8.

Таблица 8

Идентификаторы, примененные для кодирования научной принадлежности ОЯП

Код раздела	Раздел наук о Земле	Код класса	Класс процессов
1	2	3	4
1	Метеорология	10	Опасные изменения состава воздуха
1	Метеорология	11	Опасные конвективные явления
1	Метеорология	12	Опасные явления в устойчивой атмосфере при повышенном давлении
1	Метеорология	13	Опасные явления в устойчивой атмосфере при пониженном давлении
1	Метеорология	14	Опасные синоптические положения
1	Метеорология	15	Опасные атмосферные макропроцессы
2	Гидрология	21	Опасные аномалии уровня поверхностных вод
2	Гидрология	22	Опасные волны
2	Гидрология	23	Опасные ледовые явления
3	Гидрогеология	31	Переувлажнение почвы (подтопление территории, заболачивание)
3	Гидрогеология	32	Осадка грунта
3	Гидрогеология	33	Карст
4	Гидрогеология	41	Криогенное пучение
4	Гидрогеология	42	Наледи
4	Гидрогеология	43	Криогенные склоновые процессы
4	Гидрогеология	44	Термокарст
5	Геоморфология	51	Обвалы
5	Геоморфология	52	Осыпи

1	2	3	4
5	Геоморфология	53	Оползни
5	Геоморфология	54	Лавины
5	Геоморфология	55	Сели
6	Геология	61	Разуплотнение пород в результате снятия напряжений
6	Геология	62	Выветривание
6	Геология	63	Эоловые процессы
6	Геология	64	Абразия
6	Геология	65	Плывунные явления
7	Геофизика	71	Землетрясения
7	Геофизика	72	Вулканизм
7	Геофизика	73	Геомагнетизм
8	Астрономия	81	Метеоритный удар

6.1. Перечень катастроф

Информация обо всех видах природных катастроф ниже сведена в краткий перечень. Для последующего создания схемы взаимосвязей каждое опасное явление снабжено цифровым идентификатором. Первая цифра идентификатора отражает научную принадлежность ОЯП, вторая характеризует класс процессов, к которым принадлежит явление в своей науке, третья является собственным номером явления в классе. При первом чтении на эти идентификаторы можно не обращать внимание.

Метеорология и агрометеорология

101. Кислотный дождь

Определение. Дождь, содержащий окислы азота и двуокиси серы. *Экстремальная геофизическая ситуация.* Образование атмосферных осадков над промышленными центрами. *Причины возникновения.* Повышенная концентрация в воздухе над промышленными центрами окислов азота и серы, а также азотной и серной кислот. *Повод возникновения.* Метеорологические условия, способствующие усилению осадков и скорости перемещения облака. *Условия для обострения тенденций.* Аварии или другие условия для обострения промышленных выбросов в атмосферу. *Связанные ОЯП.* По-

вышение кислотности почвы и поверхностных вод. *Источник опасности для людей.* Понижение продуктивности сельскохозяйственных культур, нарушения экологического режима водоемов, интоксикация почвы.

102. Смог

Определение. Сильное помутнение воздуха в большом городе, вызванное взвешенными частицами дыма, пыли и тумана местного происхождения. *Экстремальная геофизическая ситуация.* Малооблачная безветренная погода при устойчивой стратификации атмосферы, когда складываются благоприятные условия для туманообразования. *Причины возникновения.* Повышенная концентрация над промышленными центрами окислов азота и серы, а также азотной и серной кислоты. *Повод возникновения.* Аварии или другие условия для обострения промышленных и автотранспортных выбросов в атмосферу. *Условия для обострения тенденций.* Низинные участки в холмистом рельефе. *Связанные ОЯП.* Интоксикация воздушного бассейна. *Источник опасности для людей.* Опасность для здоровья людей.

103. Озоновая дыра

Определение. Уменьшение общего содержания озона в стратосфере над районом до значений менее 200 единиц Добсона. *Экстремальная геофизическая ситуация.* Образование стратосферных облаков при сильном понижении температуры зимой. В этих облаках аккумулируются соединения, участвующие в реакциях разрушения озона. *Причины возникновения.* Циркуляционные условия в атмосфере над районом зимой, способствующие длительному сохранению антициклона и выхолаживанию. *Повод возникновения.* Накопление в стратосфере значительных количеств соединений хлора (фреонов), которые являются катализаторами реакций, разрушающих озон в стратосферных облаках. *Условия для обострения тенденций.* Общее увеличение концентрации соединений хлора в атмосфере Земли. *Связанные ОЯП.* Усиление потока ультрафиолетовой солнечной радиации на подстилающую поверхность района. *Источник опасности для людей.* Создание угрозы здоровью населения.

111. Крупный град

Определение. Осадки в виде частиц плотного льда диаметром не менее 20 мм. *Экстремальная геофизическая ситуация.* Динами-

ческие и кинематические условия, благоприятные для развития мезомасштабных возмущений в условно устойчивой атмосфере на фоне пониженного давления. Благоприятное синоптическое положение, например, характерные для муссонов или выходов на континент тропических циклонов. *Причины возникновения.* Очень сильная условная неустойчивость нижней тропосферы на фоне пониженного давления, высокая температура и влажность пограничного слоя, возникающие, например, при длительном проникновении морских воздушных масс на материк и интенсивной циклонической деятельности. *Повод возникновения.* Особо мощные кучево-дождевые облака, верхняя граница которых находится около тропопаузы, а уровень нулевой изотермы – в нижней тропосфере, что обеспечивает малое таяние градин. *Условия для обострения тенденций.* Пониженная температура и влажность в верхней тропосфере, наличие орографических неоднородностей, благоприятных для обострения мезомасштабных возмущений. *Связанные ОЯП.* Ливень, шквал, грозы. *Источник опасности для людей.* Повреждение сооружений, сельскохозяйственных культур.

112. Сильный ветер

Определение. Скорость ветра (считая порывы) не менее 25 м/с на акватории океанов, арктических и дальневосточных морей не менее 30 м/с, на побережьях морей и в горах – не менее 35 м/с. *Экстремальная геофизическая ситуация.* Прохождение холодных атмосферных фронтов, линий шквалов. Штормовые циклоны умеренных широт, тропические циклоны. *Причины возникновения.* Синоптическая ситуация приводит к увеличению горизонтальных барических градиентов на периферийных участках областей высокого и низкого давления. Сильный порывистый ветер возникает также при наличии в пределах пограничного слоя струйного течения нижних уровней (мезоструи) и благоприятных условий для межуровневого обмена количеством движения. *Повод возникновения.* Усилению ветра у земной поверхности должно предшествовать увеличение барического градиента, а также, хотя и не всегда, появление мезоструй (струйных течений низких уровней). *Условия для обострения тенденций.* Под влиянием некоторых форм рельефа возникают местные циркуляции, усиливающие ветер. *Связанные ОЯП.* Опасные переносы песка, водных масс, льдов. Опасное волнение на

поверхностях водоемов. *Источник опасности для людей.* Повреждение сельскохозяйственных культур, возможны песчаные заносы, сдувание плодородного слоя с сельскохозяйственных полей, обрывы проводов, повреждения сооружений.

113. Сильный ливень

Определение. Выпадение не более чем за 1 час не менее 30 мм осадков. *Экстремальная геофизическая ситуация.* Динамические и кинематические условия для развития мезомасштабных возмущений в условно устойчивой атмосфере на фоне пониженного давления. Благоприятное синоптическое положение. *Причины возникновения.* Повышенная условная неустойчивость нижней тропосферы на фоне пониженного давления, высокая температура и влажность пограничного слоя. *Повод возникновения.* Мезомасштабная конвергенция воздушных потоков в верхней части пограничного слоя атмосферы или на нижних уровнях тропосферы, приводящая к возникновению локальных восходящих потоков с диаметрами более 5 км. *Условия для обострения тенденций.* Пониженная температура и влажность в верхней тропосфере, наличие орографических неоднородностей, благоприятных для обострения мезомасштабных возмущений. *Связанные ОЯП.* Грозы, град, шквал, в горных условиях – паводки. *Источник опасности для людей.* Повреждение сооружений, сельскохозяйственных культур.

114. Смерч

Определение. Сильный вихрь с приблизительно вертикальной осью, имеющий вид темного столба или воронки, направленной от облака к поверхности земли (воды). *Экстремальная геофизическая ситуация.* Смерчи образуются впереди обостряющихся холодных фронтов в углубляющихся циклонах под обширными тропосферными депрессиями. *Причины возникновения.* Те же, что и для других опасных конвективных явлений. Возникновение динамических предпосылок для реализации запаса энергии неустойчивости в условно неустойчивой атмосфере на фоне пониженного давления. *Повод возникновения.* Параметры облачного воздуха достигли необходимых критических значений. *Условия для обострения тенденций.* Наличие узких зон хорошо выраженной конвергенции ветра в пограничном слое при значительном вертикальном сдвиге ветра в тропосфере и благоприятном горизонтальном распределении

влажности воздуха. *Связанные ОЯП.* Грозы, в отдалении ливни, град, шквал. *Источник опасности для людей.* Разрушение сооружений и объектов, гибель людей.

121. Сильная жара

Определение. В период с мая по август максимальная температура достигает опасных значений для заданного района. *Экстремальная геофизическая ситуация.* Область высокого атмосферного давления, устойчивая стратификация основной толщи тропосферы. *Причины возникновения.* Сухой, устойчивый воздух в антициклонических барических системах, не благоприятный для облачности, способствует максимальному обострению процессов дневного нагревания земной поверхности. Постепенное высыхание подстилающей поверхности уменьшает испарение, что замедляет теплоотдачу, приводит к перегреву почвы и стимулирует развитие контактного теплообмена. *Повод возникновения.* Аномальная длительность сохранения макропроцесса. *Условия для обострения тенденций.* Недостаточное увлажнение региона до установления благоприятного макропроцесса в атмосфере. *Связанные ОЯП.* Суховей, засуха, пожароопасность. *Источник опасности для людей.* Повреждение и гибель сельскохозяйственных культур, нехватка воды, ухудшение условий жизнедеятельности.

122. Сильный мороз

Определение. В период с ноября по март минимальная температура достигает опасных значений для заданного района. *Экстремальная геофизическая ситуация.* Область высокого атмосферного давления, устойчивая стратификация основной толщи тропосферы. *Причины возникновения.* Сухой, устойчивый воздух в антициклонических барических системах, не благоприятный для облачности, способствует ночному выхолаживанию и стимулирует развитие сильных ночных инверсий. *Повод возникновения.* Аномальная длительность сохранения макропроцесса. *Условия для обострения тенденций.* Недостаточное увлажнение воздуха и почвы к моменту установления стимулирующей синоптической ситуации (в холодный период – отсутствие снежного покрова). *Связанные ОЯП.* Наледи. *Источник опасности для людей.* Повреждение сооружений, обрыв проводов, ухудшение условий жизнедеятельности.

123. Чрезвычайная пожароопасность

Определение. Показатель пожарной опасности (сумма произведений температуры воздуха на значение дефицита точки росы в 15 ч, определяемая за все дни, считая от последнего с осадками не менее 3 мм) превышает 10 000. *Экстремальная геофизическая ситуация.* Длительный период пониженных осадков при повышенных температурах летом. *Причины возникновения.* Преобладание в атмосфере региона устойчивых антициклонов. *Повод возникновения.* Развитие соответствующего макропроцесса в атмосфере над естественным синоптическим районом. Аномальная длительность сохранения макропроцесса. *Условия для обострения тенденций.* Недостаточное увлажнение воздуха и почвы к моменту установления стимулирующей синоптической ситуации *Связанные ОЯП.* Пожары. *Источник опасности для людей.* Уничтожение лесов, разрушение сооружений, гибель людей, задымленность.

131. Очень сильный дождь

Определение. Выпадение за 12 часов не менее 50 мм осадков (в горах – более 30 мм). *Экстремальная геофизическая ситуация.* Значительные обложные осадки, типичные для теплых фронтов, медленно движущихся холодных фронтов и фронтов окклюзии. *Причины возникновения.* Адвекция теплого воздуха в барических системах пониженного давления сопровождается небольшими по величине, но длительно существующими восходящими потоками. Эти потоки доставляют насыщенный воздух на уровень, где температура воздуха равна температуре интенсивной кристаллизации. Образующиеся снежинки выпадают и тают после достижения уровня температуры замерзания. Процесс продолжается до тех пор, пока существуют восходящие токи. Интенсивность осадков также определяется значением скорости подъема воздуха. *Повод возникновения.* Существование фронтальных слоисто-дождевых облаков, имеющих ширину в несколько сотен километров, вертикальная мощность которых не менее 500 м, а верхняя граница располагается выше изотермы -10°C . *Условия для обострения тенденций.* Увеличение повторяемости благоприятных синоптических условий, обострение фронтов с наветренной стороны гор. *Связанные ОЯП.* Паводковые явления. Явления, связанные с подтоплением почвы. *Источник опасности для людей.* Разрушение сооружений, гибель сельскохозяйственных угодий, угроза жизнедеятельности людей.

132. Очень сильный снег

Определение. Выпадение за 12 ч не менее 20 мм осадков в зимнее время. *Экстремальная геофизическая ситуация.* Динамические и кинематические условия для развития мезомасштабных возмущений в условно устойчивой атмосфере на фоне пониженного давления. Благоприятное синоптическое положение. *Причины возникновения.* Условная неустойчивость нижней тропосферы на фоне пониженного давления, высокая температура и влажность пограничного слоя. *Повод возникновения.* Существование фронтальных слоисто-дождевых облаков, имеющих ширину несколько сотен километров, вертикальная мощность которых не менее 500 м, а верхняя граница располагается выше изотермы -10°C . *Условия для обострения тенденций.* Увеличение повторяемости благоприятных синоптических условий, обострение фронтов с наветренной стороны гор. *Связанные ОЯП.* Метель, гололедно-изморозевые явления. *Источник опасности для людей.* Резкое ухудшение видимости, снежные заносы.

133. Сильное гололедно-изморозевое отложение на проводах

Определение. Замерзание переохлажденных капель дождя на поверхности земли и на предметах с образованием слоя льда. *Экстремальная геофизическая ситуация.* Западные и северные периферии малоподвижных антициклонов, восточные и южные периферии стационарных циклонов, а также теплые секторы подвижных циклонов. *Причины возникновения.* Резкие изменения погодных условий: переход от морозной погоды к оттепели и наоборот. *Повод возникновения.* Выпадение переохлажденного дождя, мороси, наличие переохлажденного адвективного тумана. *Условия для обострения тенденций.* Наветренные стороны возвышенностей. *Связанные ОЯП.* Нет. *Источник опасности для людей.* Повреждение трубопроводов, теплотрасс, сооружений, обрыв проводов, угроза здоровью людей.

134. Сильный туман

Определение. Сильное помутнение воздуха, вызванное взвешенными каплями воды, с видимостью не более 50 м (на море – менее 100 м). *Экстремальная геофизическая ситуация.* Устойчиво стратифицированная воздушная масса при пониженном давлении в холодную половину года. *Причины возникновения.* Понижение температуры воздуха вблизи подстилающей поверхности при повыше-

нии влажности, вызываемое радиационным охлаждением и (или) адвекцией тепла и влаги. *Повод возникновения.* Адвекция в район тепла и влаги при инверсионном их распределении по вертикали и небольших (до 5 м/с) скоростях ветра. *Условия для обострения тенденций.* Низкие температуры к моменту установления стимулирующей синоптической ситуации. *Связанные ОЯП.* Изморозь, гололед, смог. *Источник опасности для людей.* Резкое ухудшение видимости.

141. Заморозки

Определение. Понижение температуры воздуха или поверхности почвы до отрицательных значений при положительной среднесуточной температуре в период активной вегетации сельскохозяйственных культур, приводящее к их повреждению. *Экстремальная геофизическая ситуация.* Малоградиентное барическое поле в гребне высокого давления или антициклоне арктического происхождения. *Причины возникновения.* Сухой, холодный воздух в арктических барических системах высокого давления, не благоприятный для облачности, способствует максимальному обострению ночного радиационного выхолаживания. *Повод возникновения.* Ночное радиационное выхолаживание почвы или вторжение в район холодной воздушной массы с температурой воздуха ниже 0°C. *Условия для обострения тенденций.* Совместное действие причин при недостаточном увлажнении верхнего слоя почвы, аномальная длительность сохранения синоптического положения. *Связанные ОЯП.* Нет. *Источник опасности для людей.* Гибель растений, угроза жизни людей и животных.

142. Обледенение

Определение. Отложение льда на частях воздушных или морских судов, а также на проводах и других объектах. *Экстремальная геофизическая ситуация.* Одним из главных синоптических процессов, определяющих обледенение судов, является адвекция холодного воздуха в тылу циклона при достаточно сильных ветрах. Зона обледенения в этом случае обычно начинается не сразу после прохождения холодного фронта, а на некотором удалении от него. Вторым типом синоптических процессов, обуславливающих обледенение, является прохождение теплых фронтов или соответствующих фронтов окклюзии. К третьему типу синоптических процессов, определяющих обледенение, относится передняя часть мощного анти-

циклона, вдоль которой осуществляется адвекция очень холодного арктического воздуха. *Причины возникновения.* Обледенение может быть вызвано попаданием на палубу и замерзанием забортной воды. *Повод возникновения.* Обледенение судов происходит при отрицательной температуре воздуха, сопровождающейся сильными (особенно штормовыми) ветрами и переохлажденными осадками. *Условия для обострения тенденций.* Ускоряет замерзание воды интенсивный снегопад. Известны случаи сильного обледенения судов в туманах парения, а также в зонах переохлажденных жидких осадков. *Связанные ОЯП.* Нет. *Источник опасности для людей.* Потеря судами летных или ходовых качеств, обрыв проводов и тросов.

143. Продолжительные сильные дожди

Определение. Выпадение не менее 100 мм осадков за период более 12 ч, но менее 48 ч. *Экстремальная геофизическая ситуация.* Значительные обложные осадки типичны для теплых фронтов, медленно движущихся холодных фронтов и фронтов окклюзии. *Причины возникновения.* Существование фронтальных слоисто-дождевых облаков, имеющих ширину в несколько сотен километров, вертикальная мощность которых не менее 500 м, а верхняя граница располагается выше изотермы -10°C . *Повод возникновения.* Длительное проникновение морских воздушных масс на материк при интенсивной циклонической деятельности. *Условия для обострения тенденций.* Прибрежные горные хребты. *Связанные ОЯП.* Паводки. *Источник опасности для людей.* Опасность ОЯП, связанных с избытком влаги в почве, разрушения от паводков.

144. Сильная метель

Определение. Перенос снега над поверхностью земли ветром со средней скоростью не менее 15 м/с, понижающий видимость до 500 м и менее. *Экстремальная геофизическая ситуация.* Анализ синоптических процессов показал, что месяцы с повышенной повторяемостью метелей характеризовались ослабленной антициклонической деятельностью и преобладанием процессов интенсивного циклогенеза над Западной Европой и Средиземным морем. При этом чаще всего перемещение циклонов происходило со Скандинавии на центральные районы РФ или со Средиземного и Черного морей на Украину (выход южных циклонов). *Причины возникновения.* Объем переносимого при метелях снега зависит от их продолжительности и

интенсивности снегопереноса. Интенсивность переноса снега при метелях зависит в основном от распределения скоростей ветра. Сильные метели чаще возникают при больших барических градиентах в нижнем слое тропосферы в зоне выпадения снега. *Повод возникновения.* Общие метели обычно связаны с зонами фронтальных осадков. Теплые фронты после морозной погоды. Состояние снежного покрова способствует его подъему ветром. *Условия для обострения тенденций.* Наличие препятствий на пути ветра приводит к увеличению снегонакопления. *Связанные ОЯП.* Нет. *Источник опасности для людей.* Снежные заносы, вынос почвы с сельскохозяйственных полей.

145. Сильная пыльная буря

Определение. Перенос больших количеств пыли или песка над поверхностью земли ветром со средней скоростью не менее 15 м/с, понижающий видимость до 500 м и менее. *Экстремальная геофизическая ситуация.* Связана со шквалистыми ветрами при прохождении резко выраженных холодных фронтов второго рода или грозовых очагов. Она возникает на границе стационарных областей высокого давления и депрессий. Такая синоптическая ситуация приводит к увеличению горизонтальных барических градиентов на периферийных участках областей высокого и низкого давления. При сильных пыльных бурях, охватывающих обширные районы, в нижней половине тропосферы образуются струйные течения со скоростью ветра 30 м/с, ширина которых не превышает 500 км, а вертикальная мощность 1,5–2 км. *Причины возникновения.* Причиной бури принято считать турбулентные вихри, возникающие при усилении ветра, и сильные вертикальные токи, образующиеся благодаря термической конвекции. *Повод возникновения.* Сильный дневной прогрев подстилающей поверхности. *Условия для обострения тенденций.* Сухость почвы способствует ее подъему и переносу ветром. Наличие препятствий на пути ветра приводит к увеличению накопления песка. *Связанные ОЯП.* Электризация атмосферы и генерация радиопомех. *Источник опасности для людей.* Песчаные заносы, вынос почвы с сельскохозяйственных полей.

146. Суховей

Определение. Сохранение в течение трех и более дней подряд хотя бы в один из сроков наблюдений каждого дня значений относи-

тельной влажности не более 30% при скорости ветра более 7 м/с и температуре выше 25°C в период цветения, налива, созревания зерновых культур. *Экстремальная геофизическая ситуация.* Южная или юго-западная периферия антициклона находится над степным или полупустынным районом. *Причины возникновения.* Антициклон вызывает приток в район сухого арктического воздуха с последующим прогревом за счет трансформации. *Повод возникновения.* Восточное или юго-восточное направление ветра (со стороны нагретого континента). *Условия для обострения тенденций.* Длительное сохранение благоприятного синоптического положения над степным или полупустынным районом. *Связанные ОЯП.* Пыльные бури. Засуха. *Источник опасности для людей.* Ветер в сочетании с высокой температурой и низкой относительной влажностью вызывает быструю и массовую гибель растений, создает угрозу жизни людей и животных.

151. Засуха атмосферная

Определение. Отсутствие эффективных осадков (более 5 мм в сутки) в вегетационный период года не менее 30 дней подряд при максимальной температуре выше 25°C (в южных районах – выше 30°C). *Экстремальная геофизическая ситуация.* Длительный период весной или летом слабых осадков при повышенных температурах, в результате чего резко увеличивается транспирация растений и испарение с поверхности воды. *Причины возникновения.* Преобладание в атмосфере региона устойчивых антициклонов. *Повод возникновения.* Развитие соответствующего макропроцесса в атмосфере над естественным синоптическим районом. *Условия для обострения тенденций.* Аномальная длительность сохранения макропроцесса (блокирование). *Связанные ОЯП.* Суховеи, пожары. *Источник опасности для людей.* Разрушения сооружений, гибель посевов, гибель людей.

152. Засуха почвенная

Определение. В вегетационный период года не менее 30 дней подряд запасы продуктивной влаги в слое почвы 0–20 см составляют не более 10 мм. *Экстремальная геофизическая ситуация.* Длительный период весной или летом слабых осадков при повышенных температурах, в результате чего иссякают запасы воды в почве. *Причины возникновения.* Преобладание в атмосфере региона устойчивых антициклонов, после длительного периода слабого накопле-

ния и повышенного расхода почвенной и подземной влаги. *Повод возникновения.* Развитие соответствующих макропроцессов в атмосфере над естественным синоптическим районом в течение нескольких естественных синоптических сезонов. *Условия для обострения тенденций.* Аномальная длительность сохранения макропроцесса, малоснежная зима после сухой осени. *Связанные ОЯП.* Суховеи, пожары. *Источник опасности для людей.* Разрушения сооружений, гибель посевов, гибель людей.

Гидрология и океанология

211. Зажор

Определение. Скопление шуги и внутриводного льда во время осеннего ледохода и в начале ледостава, создающее стеснение русла на отдельном участке реки и вызывающее подъем уровня воды до отметок обеспеченностью менее 10%. *Экстремальная геофизическая ситуация.* Осенний паводок. *Причины возникновения.* Уменьшение пропускной способности живого сечения реки массой внутриводного льда. *Повод возникновения.* Поступление воды превысило пропускную способность живого сечения. *Условия для обострения тенденций.* Естественное уменьшения живого сечения русла и его изгибы в районе. *Связанные ОЯП.* Затопление местности и населенных пунктов, расположенных в пределах речной долины выше ежегодно затопляемой поймы. *Источник опасности для людей.* Разрушения сооружений, гибель посевов, гибель людей.

212. Затор

Определение. Скопление льда во время ледохода, создающее стеснение русла на отдельном участке реки и вызывающее подъем уровня воды до отметок обеспеченностью менее 10%. *Экстремальная геофизическая ситуация.* Весеннее половодье. *Причины возникновения.* Уменьшение пропускной способности живого сечения реки массой льдин, переносимых по поверхности. *Повод возникновения.* Поступление воды превысило пропускную способность живого сечения. *Условия для обострения тенденций.* Естественное уменьшение живого сечения русла и его изгибы в районе. *Связанные ОЯП.* Затопление местности и населенных пунктов, расположенных в пределах речной долины выше ежегодно затопляемой поймы, оползни, эрозия берегов. *Источник опасности для людей.* Разрушения сооружений, гибель посевов, гибель людей.

213. Нагонные явления

Определение. Уровень воды выше опасных отметок, при которых затопляются населенные пункты, береговые сооружения и объекты. *Экстремальная геофизическая ситуация.* Длительный штормовой ветер, имеющий опасное направление для данной ориентации и конфигурации береговой линии. *Причины возникновения.* Формирование благоприятной для развития штормового ветра синоптической обстановки в регионе. *Повод возникновения.* Штормовой ветер, вызывающий перемещение водных масс из одной части водоема в другую под влиянием денивелиации уровня водной поверхности. *Условия для обострения тенденций.* Время прилива, форма береговой черты, наличие островов, бухт и эстуариев. *Связанные ОЯП.* Затопление местности и населенных пунктов, расположенных в пределах речной долины выше ежегодно затопляемой поймы, оползни, эрозия берегов. *Источник опасности для людей.* Разрушения сооружений, гибель посевов, гибель людей.

214. Низкая межень

Определение. Понижение уровня воды в водоеме ниже навигационных уровней и проектных отметок водозаборных сооружений. *Экстремальная геофизическая ситуация.* Засуха. *Причины возникновения.* Уменьшение притока воды с водосборной площади. *Повод возникновения.* Сокращение притока вод в живое сечение реки при понижении уровня подземных вод в ее бассейне. *Условия для обострения тенденций.* Зоны степей или пустынь. *Связанные ОЯП.* Суховей, пожароопасность. *Источник опасности для людей.* Перебои в водоснабжении, эксплуатации водных путей, производстве. Опасность эпидемий.

215. Паводок

Определение. Быстрый подъем уровня воды до отметок обеспеченностью менее 10%, возникающий нерегулярно. *Экстремальная геофизическая ситуация.* Резкий рост притока воды в живое сечение реки, вызванный добеганием вод паводка. *Причины возникновения.* Выпадение обильных дождей, кратковременное, интенсивное снеготаяние. *Повод возникновения.* Поступление воды превысило пропускную способность живого сечения. *Условия для обострения тенденций.* Аномальный характер обильных дождей или интенсивности снеготаяния. *Связанные ОЯП.* Затопление местности и населенных

пунктов, расположенных в пределах речной долины выше ежегодно затопляемой поймы, оползни, эрозия берегов. *Источник опасности для людей.* Разрушения сооружений, гибель посевов, гибель людей.

216. Половодье

Определение. Ежегодный подъем уровня воды до отметок с обеспеченностью менее 10%. *Экстремальная геофизическая ситуация.* Резкий рост притока воды в живое сечение реки, вызванное притоком вод снеготаяния в бассейне. *Причины возникновения.* Фаза наибольшей водности реки в ее годовом режиме, характеризующаяся высоким и длительным подъемом уровня воды и повторяющаяся у рек одной и той же климатической зоны в один и тот же сезон. *Повод возникновения.* Поступление воды превысило пропускную способность живого сечения. *Условия для обострения тенденций.* Условия, благоприятные для возникновения паводков, заторов, нагонов, волн стока. *Связанные ОЯП.* Затопление местности и населенных пунктов, расположенных в пределах речной долины выше ежегодно затопляемой поймы, оползни, эрозия берегов. *Источник опасности для людей.* Разрушения сооружений, гибель посевов, гибель людей.

221. Сильное волнение

Определение. Достижение высотой волн значений, признаваемых в данном районе опасными для мореплавания, промысла и сооружений (в прибрежных районах высота волн не менее 4 м, в открытом море – не менее 6 м, в океане – не менее 8 м). *Экстремальная геофизическая ситуация.* Штормовые циклоны умеренных широт над акваторией, тропические циклоны. *Причины возникновения.* Зависимость высоты ветровых волн от скорости ветра и продолжительности его воздействия на водную поверхность. *Повод возникновения.* Сильный, длительный и устойчивый по направлению ветер. *Условия для обострения тенденций.* Время прилива, мелководье, закрытый характер бассейна, низкое побережье. *Связанные ОЯП.* Наводнения у побережий. *Источник опасности для людей.* Разрушения сооружений или объектов, гибель посевов, гибель людей.

222. Тягун

Определение. Горизонтальные колебания пришвартованных судов, вызванные колебанием воды в портовой акватории. *Экстремальная геофизическая ситуация.* Возникновение на поздней ста-

дни развития ветрового волнения, когда энергии резонансной и дорезонансной систем ветрового волнения становятся соизмеримы, нелинейных колебаний с частотами, низкими по сравнению с частотами ветровых волн. *Причины возникновения.* Нелинейные взаимодействия в штормовой зоне моря двух основных систем ветровых волн (резонансной и дорезонансной). *Повод возникновения.* Сильный, устойчивый по направлению, длительный штормовой ветер, а также большая протяженность акватории для разгона волн (более 100 км). *Условия для обострения тенденций.* Определенные соотношения между характеристиками акватории (глубиной, горизонтальной протяженностью), а также параметрами, определяющими высоту и период ветровых волн (скоростью ветра, направлением ветра и стратификацией пограничного слоя атмосферы). *Связанные ОЯП.* Нет. *Источник опасности для людей.* Обрыв тросов, повреждение судов, крупные материальные потери.

2 2 3 . Ц у н а м и

Определение. Опасная волна, приводящая к затоплению прибрежных населенных пунктов, береговых сооружений и других хозяйственных объектов. *Экстремальная геофизическая ситуация.* Распространение длинных, пологих уединенных волн, формирующиеся в океанах под влиянием быстро протекающих крупномасштабных возмущений водной поверхности и движущихся концентрически от эпицентра почти без диссипации энергии. *Причины возникновения.* Свойства свободных длинных волн на поверхности мелкой воды. *Повод возникновения.* Землетрясение на море, а также вулканические извержения, оползни, обвалы. *Условия для обострения тенденций.* По мере приближения к мелководью, растет амплитуда волн. Возможно резкое усиление амплитуды волн за счет резонансных явлений в заливах и гаванях. *Связанные ОЯП.* Наводнение, удар волны. *Источник опасности для людей.* Разрушения сооружений, гибель посевов, гибель людей.

2 3 1 . И н т е н с и в н ы й д р е й ф л ь д а

Определение. Дрейф льдин со скоростью не менее 1 км/ч. *Экстремальная геофизическая ситуация.* Перемещение ледяных полей в период навигации в направлении судовых трасс и районов промысла или к берегу, на котором расположены населенные пункты. *Причины возникновения.* Скорость и направление дрейфа плавучих

льдов определяется касательным напряжением ветра на его поверхности, а значит, зависит от скорости и направления ветра над ледяными полями. *Повод возникновения.* Увеличение скорости ветра. *Условия для обострения тенденций.* Увеличение шероховатости поверхности льдов за счет высоты и формы торосов. *Связанные ОЯП.* Сжатие льда, опасное появление льда, навалы льда, опасность отрыва льда. *Источник опасности для людей.* Разрушение сооружений, гибель людей, находящихся на дрейфующем льду.

232. Навалы льда

Определение. Нагромождение льдин на берегах. *Экстремальная геофизическая ситуация.* Ледоход, ветровой дрейф льдов к берегу в результате нажимных ветров. *Причины возникновения.* Наложение эффектов действия нагрузок за счет ударов отдельных льдин, разрушения льдин, горизонтального напора льда на сооружения и вертикального подъема примерзшего к сооружению ледяного покрова. *Повод возникновения.* Ветровой дрейф льдов или перенос их течением, изменение уровня моря, покрытого льдом. *Условия для обострения тенденций.* Форма русла или береговой линии, начальные значения характеристик ледяных полей, скорость ветра и течения. *Связанные ОЯП.* Нет. *Источник опасности для людей.* Разрушение береговых сооружений и объектов.

233. Опасное появление льда

Определение. Появление льда, не проходимого судами и ледоколами в период навигации на судовых трассах и в районах промысла. *Экстремальная геофизическая ситуация.* Расположение кромки плавающих льдов вблизи судоходных трасс и районов промысла. *Причины возникновения.* Характер ветровой циркуляции вод поверхностного слоя, скорость замерзания поверхностного слоя воды. *Повод возникновения.* Перемещение изотермы замерзания морской воды под влиянием аномалий теплопотерь через поверхность моря. *Условия для обострения тенденций.* Мелководность водоемов. *Связанные ОЯП.* Нет. *Источник опасности для людей.* Повреждение и гибель судов, прекращение судоходства и промысловых работ.

234. Опасность отрыва льда

Определение. Опасность отрыва прибрежных льдов в местах выхода людей на лед. *Экстремальная геофизическая ситуация.*

Усиление ветра в течение 7–8 дней в условиях весеннего потепления. *Причины возникновения.* Касательное напряжение ветра превысило среднее по столбцу льда предельное сопротивление льда, при этом само предельное сопротивление уменьшается при повышении температуры льда. *Повод возникновения.* Взлом припая при отжимном ветре. *Условия для обострения тенденций.* Однолетний лед, лед загрязнен и имеет относительно высокую соленость. *Связанные ОЯП.* Нет. *Источник опасности для людей.* Гибель людей, находящихся на дрейфующем льду.

235. Раннее появление льда

Определение. Появление ледяного покрова или припая в ранние сроки повторяемостью не чаще одного раза в 10 лет. *Экстремальная геофизическая ситуация.* Преобладание в атмосфере процессов, обостряющих отрицательные аномалии температуры. Например, западный тип циркуляции в Арктике. *Причины возникновения.* Достижение температурой поверхностного слоя воды значения температуры замерзания, соответствующей имеющейся солености. *Повод возникновения.* Интенсификация процесса выхолаживания воды в результате сдвига на более ранние сроки момента достижения воздухом нулевой температуры и усиленного выхолаживания атмосферы при соответствующих атмосферных процессах. *Условия для обострения тенденций.* Благоприятные для ледообразования значения характеристик поверхностного слоя акваторий: наличие старых льдов, распреснение поверхностного слоя воды за счет выпадения осадков или стока рек, принос льда из соседних районов. *Связанные ОЯП.* Нет. *Источник опасности для людей.* Прекращение судоходства и промысловых работ до их планового окончания.

236. Сжатие льда

Определение. Сжатие льда с интенсивностью 3 балла. *Экстремальная геофизическая ситуация.* Синоптическое положение способствующее конвергенции ветровых потоков, воздействующих на льды. *Причины возникновения.* Касательное напряжение ветра, действующее на участок льда, превысило среднее по столбцу льда предельное сопротивление льда на растяжение, рассчитанное для толщины льда, длины участка, температуры и солености льда. *Повод возникновения.* Конвергенция потоков, перемещающих лед. *Условия для обострения тенденций.* Увеличение шероховатости поверхно-

сти льдов за счет высоты и формы торосов. *Связанные ОЯП.* Нава-
лы льда. *Источник опасности для людей.* Повреждение и гибель
судов, береговых объектов в результате сжатия льдов.

Гидрогеология

311. Переувлажнение почвы (подтопление территории, заболачивание)

Определение. Образование участков, нормальной эксплуатации которых препятствует либо малая глубина залегания подземных вод, либо слабая проточность или застой воды в поверхностных горизонтах грунта. *Экстремальная геофизическая ситуация.* Длительное, избыточное содержание влаги в верхнем горизонте грунта при благоприятных для накопления воды формах рельефа. *Причины возникновения.* Постоянное, избыточное увлажнение поверхностного слоя грунта препятствует проникновению в него кислорода и замедляет процесс разложения отмирающей растительности. Это приводит к преобладанию сжегодного прироста органической массы над перегниванием и образованию торфяников. *Повод возникновения.* Изменение увлажненности и температуры слоя грунта, приводящее к повышению уровня подземных вод, техногенные процессы в районе. *Условия для обострения тенденций.* Климатические условия избыточного увлажнения, равнинный характер рельефа при наличии отрицательных форм рельефа. *Связанные ОЯП.* Осадка и провалы грунта, плывуны. *Источник опасности для людей.* Непроходимость дорог. Нарушение условий нормальной эксплуатации и разрушение сооружений, засоление почвы.

322. Осадка и провалы грунта

Определение. Вертикальное смещение участков поверхности земли, возникающее внутри грунтов, способных быстро уплотняться при намокании или оттаивании. *Экстремальная геофизическая ситуация.* Образование каверн в толще грунтов. *Причины возникновения.* Наличие внутри грунтов района растворимых, размываемых, уплотняющихся или размораживающихся участков. *Повод возникновения.* Изменение уровня подземных вод, температуры слоя грунта, техногенные процессы в районе. *Условия для обострения тенденций.* Длительный период сохранения неблагоприятных условий атмосферного увлажнения. Характер грунтов. *Связанные ОЯП.* Цунами. *Источник опасности для людей.* Разрушение сооружений.

332. Карст

Определение. Образование специфических форм рельефа, отражающих процесс растворения подземными водами горных пород с образованием внутри грунтов полостей и пещер различных форм и размеров. *Экстремальная геофизическая ситуация.* Наличие в районе грунтов, сложенных соленосными породами, гипсами, ангидритами и карбонатными породами, карстовые формы рельефа местности. *Причины возникновения.* Повышенная растворимость пород отдельных участков грунтов. *Повод возникновения.* Возникновение трещин или каверн в грунте. *Условия для обострения тенденций.* Изменение уровня подземных вод, увеличение их напора, увеличение количества осадков. *Связанные ОЯП.* Осадка и провалы на поверхности грунта. *Источник опасности для людей.* Разрушение зданий, сооружений, объектов.

Геокриология

411. Криогенное пучение

Определение. Поднятие поверхности земли с образованием бугров в результате льдообразования в промерзающих грунтах. *Экстремальная геофизическая ситуация.* Наличие рыхлых влажных грунтов, подвергающихся сезонному замерзанию. *Причины возникновения.* Увеличение объема льда по сравнению с исходным объемом воды при замерзании. *Повод возникновения.* Сезонное промерзание поверхностного слоя грунта. *Условия для обострения тенденций.* Наличие под поверхностным промерзающим слоем, но выше слоя вечной мерзлоты, незамерзшего объема воды. *Связанные ОЯП.* Наледи при растрескивании, просадки грунта при оттаивании. *Источник опасности для людей.* Выпирающие опоры, повреждение буграми дорог и аэродромов.

422. Наледь

Определение. Слоистый ледяной массив на поверхности земли или инженерных сооружений, образовавшийся при замерзании периодически изливающихся вод. *Экстремальная геофизическая ситуация.* Затопление территории зимой, морозное растрескивание ледовых шапок, покрывающих напорные водотоки. *Причины возникновения.* Попадание воды на поверхности, имеющие отрицательные температуры. *Повод возникновения.* Усиление морозов до темпера-

тур, более низких, чем характерные для данной местности. *Условия для обострения тенденций.* Вода вытекает в период отрицательных температур из замкнутых естественных систем, либо попадает на береговые сооружения при волнении, либо осаждается в виде капель дождя, мороси, тумана, штормовых брызг. *Связанные ОЯП.* Пучение, наводнения, оползни. *Источник опасности для людей.* Разрушение дорожных покрытий, оползание и просадки насыпей, способствующее дроблению и выветриванию бетонных сооружений.

433. Кр и о г е н н ы е с к л о н о в ы е п р о ц е с с ы

Определение. Совокупность гравитационных процессов переноса обломочного или рыхлого материала, для проявления которых необходимо периодическое промерзание и протаивание пород (курумы, десепция, солифлюксия). *Экстремальная геофизическая ситуация.* Скопление на склонах гор обломочных и рыхлых материалов. *Причины возникновения.* При промерзании грунтов происходит их выпучивание по нормали к склону, что сочетается с действием силы тяжести по вертикали и порождает в период оттаивания результирующее перемещение обломков (курумы) или рыхлых грунтов (десепция) по касательной к склону вниз. Для грунтов, увлажнение которых приближается к пределу текучести, возможно вязкопластичное течение во время оттаивания. *Повод возникновения.* В результате оттаивания летом уменьшается сопротивление дернового покрытия на склоне и может достигаться критическое значение угла наклона склона. *Условия для обострения тенденций.* Весеннее время, выпадение сильных дождей. *Связанные ОЯП.* Нет. *Источник опасности для людей.* Разрушение дорожных покрытий, оползание и просадки насыпей, способствующее дроблению и выветриванию бетонных сооружений.

444. Т е р м о к а р с т

Определение. Образование провальных форм рельефа и подземных пустот в результате оттаивания подземного льда или мерзлого грунта. *Экстремальная геофизическая ситуация.* Области бывшего расположения и деградации вечной мерзлоты в районе. *Причины возникновения.* Наличие участков подземных льдов или льдистых отложений, возможность отфильтровывания оттаявшей воды вверх. *Повод возникновения.* Глубина сезонного оттаивания превышает глубину залегания льдистых пород или льда. *Условия для обо-*

стрения тенденций. Создание условий дополнительного нагрева поверхностного слоя грунта. *Связанные ОЯП.* Термоабразия, термоэрозия, оползни, просадки грунта. *Источник опасности для людей.* Разрушение бортов карьеров, насыпных сооружений и выемок.

Геоморфология

511. Обвал

Определение. Отделение крупного блока от массива горных пород на крутом обрывистом склоне и последующее обрушение и скалывание глыбово-щебнистой массы. *Экстремальная геофизическая ситуация.* Склоны массива скальных грунтов слоистой структуры разбиты вертикальными трещинами на отдельные блоки, угол склона которых больше угла естественного откоса для слагающих пород. *Причины возникновения.* Интенсивное выветривание, сейсмические толчки, длительное увлажнение, подмыв склонов водотоками. *Повод возникновения.* Ураган, землетрясение, взрывы. *Условия для обострения тенденций.* Благоприятный рельеф, тектоника, гидрогеологическое строение района, выпадение атмосферных осадков. *Связанные ОЯП.* Волны стока, сели, оползни. *Источник опасности для людей.* Разрушения сооружений, гибель посевов, гибель людей.

532. Оползень

Определение. Скользящее смещение массы грунта вниз по уклону под действием силы тяжести при участии подземных или поверхностных вод. *Экстремальная геофизическая ситуация.* Склоны массива рыхлых грунтов из щебнисто-глинистых пород. Угол склона близок или больше угла естественного откоса для слагающих пород. *Причины возникновения.* Залегание относительно малопрочных пород под более прочными, постепенное уменьшение прочности подстилающих пород, появление трещин в них и накопление влаги в них, возрастание скалывающих напряжений в верхнем слое пород или действие напорных подземных вод на нижний слой. *Повод возникновения.* Естественное или техногенное увеличение нагрузок на склон. *Условия для обострения тенденций.* Длительное сохранение условий, деформирующих склон. *Связанные ОЯП.* Волны стока, сели, лавины. *Источник опасности для людей.* Разрушение всех сооружений, завалы.

552. Сход лавины

Определение. Масса снега, падающая или сползающая с горных склонов и увлекающая на своем пути новые массы снега. *Экстремальная геофизическая ситуация.* Образование скоплений снега на склонах гор. *Причины возникновения.* Сила давления снега, направленная вниз по склону, превышает сумму сил сцепления в сечении снежного покрова, проходящем по линии наибольшего напряжения. *Повод возникновения.* Снегопад, метель, резкое понижение или повышение температуры, внешние нагрузки случайного характера. *Условия для обострения тенденций.* Ослабление связей частиц снега при таянии или проникновении воды (мокрые лавины), влияние формы склона. *Связанные ОЯП.* Нет. *Источник опасности для людей.* Разрушение сооружений, завалы.

563. Сель

Определение. Паводок с очень большим (до 75% общей массы) содержанием минеральных частиц и обломков горных пород, характеризующийся продвижением лобовой части в форме вала из воды и наносов большой разрушительной силы. *Экстремальная геофизическая ситуация.* Наличие ложбины в горах, которая имеет достаточный уклон и в которой скапливается рыхлый и обломочный материал, а также имеется возможность концентрировать сток. *Причины возникновения.* Переувлажнение значительных объемов рыхлых грунтов, накопленных в бассейнах небольших горных рек и сухих логов, имеющих значительный уклон. *Повод возникновения.* Выпадение интенсивных ливней или бурное снеготаяние в горах. *Условия для обострения тенденций.* Обвалы или оползни в бассейнах небольших горных рек со значительными уклонами. *Связанные ОЯП.* Волны стока. *Источник опасности для людей.* Разрушения сооружений, гибель людей.

Геология

631. Движение песков

Определение. Перенос значительных масс песка ветром достаточной скорости. *Экстремальная геофизическая ситуация.* Наличие значительных участков песчаной поверхности (пустыни, пляжи). *Причины возникновения.* Скорость ветра достигает необходимых для подъема частиц песка значений. *Повод возникновения.* Направ-

ление ветра благоприятно для перемещения. *Условия для обострения тенденций.* Длительное сохранение сильных ветров. *Связанные ОЯП.* Нет. *Источник опасности для людей.* Заносы. Разрушение сооружений, завалы.

642. Эрозия берегов

Определение. Разрушение берегового склона водоемов под действием течений и волн, направленное на создание склона с равновесным профилем. *Экстремальная геофизическая ситуация.* Образование неустойчивых форм берегового склона, трещин и каверн в толще грунтов. *Причины возникновения.* Длительная работа волн и течений, режим уровня водоема, режим наносов, ледовый режим. *Повод возникновения.* Случайный импульс метеорологического, гидрологического или техногенного характера. *Условия для обострения тенденций.* Рельеф, тектоника, геологическое строение, свойства грунтов. *Связанные ОЯП.* Цунами. *Источник опасности для людей.* Разрушение береговых сооружений, транспортных средств.

673. Плывуны

Определение. Способность водонасыщенных дисперсных грунтов к внезапному переходу в разжиженное состояние и перемещению в виде потоков. *Экстремальная геофизическая ситуация.* Наличие участков мелкозернистых песков и пылеватых суглинков, содержащих органические вещества и находящихся в состоянии водонасыщения. *Причины возникновения.* Тиксотропность (переход коллоида из геля в золь при встряхивании) глинистых, лессовых и супесчаных грунтов. *Повод возникновения.* Возникновение вибраций в слое, содержащем плывуны, а также встряхивание, перемешивание или воздействие ультразвуком, оттаивание замороженного слоя. *Условия для обострения тенденций.* Увеличение влажности грунта. *Связанные ОЯП.* Осадка и провалы грунтов, оползни. *Источник опасности для людей.* Разрушения сооружений, особенно подземных, сбой в работе автотранспорта, гибель людей.

Геофизика

71. Землетрясение

Определение. Подземные толчки и колебания земной поверхности. *Экстремальная геофизическая ситуация.* Образование трещин в земной коре и верхней мантии. *Причины возникновения.* Тектони-

ческие смещения и разрывы в земной коре и верхней мантии. *Повод возникновения.* Разгрузка напряженного состояния участков земной коры. *Условия для обострения тенденций.* Повышение напряжений в результате воздействия гидросферы или атмосферы на участки земной коры. *Связанные ОЯП.* Цунами, обвалы, оползни, сели, наводнения. *Источник опасности для людей.* Быстрое разрушение сооружений, завалы, приводящие к гибели людей.

72. Извержение вулкана

Определение. Появление на земной поверхности расплавленной породы из кратера или трещины. *Экстремальная геофизическая ситуация.* Наличие действующих вулканов. *Причины возникновения.* Повышение давления в слое магмы за счет фазовых переходов при химических реакциях в ней. *Повод возникновения.* Не известен. *Условия для обострения тенденций.* Активные участки поверхности Земли. *Связанные ОЯП.* Землетрясения и связанные явления, пожары, смог. *Источник опасности для людей.* Разрушение сооружений, завалы, пожары, гибель людей в результате отравления воздуха и завалов пеплом.

731. Резкое ухудшение радиационной обстановки

Определение. Проникновение космического и солнечного излучения с опасными длинами волн через атмосферу к поверхности Земли. *Экстремальная геофизическая ситуация.* Ослабление магнитного поля Земли. *Причины возникновения.* Перемена направления кольцевых токов в земном ядре, приводящая к смене магнитной полярности. *Повод возникновения.* Изменения динамического режима в жидком ядре Земли. *Условия для обострения тенденций.* Сохранение экстремальной ситуации в течение опасно длительного времени. *Связанные ОЯП.* Радиоактивное заражение поверхности планеты. *Источник опасности для людей.* Создание угрозы жизни населению планеты.

732. Резкие изменения ионосферы (магнитная буря)

Определение. Быстрые и сильные нерегулярные колебания характеристик земного магнетизма, резко нарушающие его плавный суточный ход и продолжающиеся от нескольких часов до нескольких дней. *Экстремальная геофизическая ситуация.* Отклонения по-

ложения магнитопаузы от нормального, связанные с повышением плотности плазмы солнечного ветра или понижением напряженности геомагнитного поля. *Причины возникновения.* Нестационарность коротковолнового излучения (УФ и рентгеновского) Солнца. *Повод возникновения.* Усиление количества и яркости активных образований на Солнце. *Условия для обострения тенденций.* Дневная сторона Земли, приполярные области, ориентация проводников тока на поверхности земли, пониженная проводимость почвы. *Связанные ОЯП.* Возникновение индуцированных геомагнитных токов в проводниках, возникновение радиопомех. *Источник опасности для людей.* Резкое ухудшение радио- и телевизионной связи, выход из строя ЛЭП, кабелей связи, трубопроводов и рельсовых путей, возможно ухудшение состояния здоровья людей.

Астрономия

81. Метеоритный удар

Определение. Падение небольших небесных тел (метеоритов) на поверхность Земли. *Экстремальная геофизическая ситуация.* Приближение к Земле по опасной траектории небесных тел. *Причины возникновения.* Наличие в космосе небольших небесных тел, за которыми не велись астрономические наблюдения. *Повод возникновения.* Обнаружение опасной траектории движения небольших небесных тел. *Условия для обострения тенденций.* Возможность попадания метеорита на плотно заселенные участки поверхности Земли. *Связанные ОЯП.* Землетрясения, ударная волна от взрыва, пожары. *Источник опасности для людей.* Разрушение сооружений, завалы, пожары.

6.2. Взаимосвязи катастроф

Происходя в едином объеме, занятом активно взаимодействующими средами, природные катастрофы часто оказывают друг на друга иницилирующее влияние, в результате чего их разрушительная сила возрастает. Если использовать названия ОЯП, введенные выше, то можно изобразить "взаимопомощь" катастроф в виде структурированного списка. При построении этого списка все ОЯП были разбиты на первичные явления, явления порядка 2, 3 и 4.

Первичные явления могут возникать независимо от предварительного наличия других ОЯП. Явления более высокого порядка

обычно возникают после того, как возникли ОЯП более низких порядков. Конечно, между первичными явлениями могут также быть связи. Например, во время извержений вулканов могут возникать землетрясения, сопровождающиеся цунами, обвалами, оползнями и очень сильными дождями. Но поскольку эти явления могут существовать и независимо, связи между ними в списке не показаны.

**Структурированный список опасных природных явлений
с учетом основных причинно-следственных связей**

Явление			
первичное	порядка 2	порядка 3	порядка 4
1	2	3	4
Сильный ветер	Движение песков Сильная пыльная буря Нагонные явления Сильное волнение Тягун Сильная метель Интенсивный дрейф льда Сжатие льда Опасность отрыва льда Навалы льда		
Заморозки	Обледение судов Раннее появление льда Опасное появление льда Зажор		
Сильный мороз	Криогенное пучение		
Очень сильный снег	Сход лавины		
Сильный мороз	Криогенное пучение Наледь Смог		
Сильный туман			
Сильное голо- ледно- изморозевое отложение на проводах Половодье	Затор Карст Криогенные склоновые процессы Термокарст		
Сильная жара	Засуха атмосферная	Суховей	

1	2	3	4
Очень сильный дождь	Засуха почвенная	Чрезвычайная пожа- роопасность Низкая межень Осадка и провалы грунта	
	Кислотный дождь		
	Сильный ливень	Крупный град Смерч	
	Продолжительные сильные дожди	Переувлажнение почвы (подтопление территории, забола- чивание) Паводок	Оползень Плывуны
Землетрясение	Цунами Обвал		Сель Эрозия берегов
Извержение вулкана			
Резкое ухудше- ние радиацион- ной обстановки			
Резкие измене- ния ионосферы (магнитная буря)			
Метеоритный удар			

ПРОГНОЗ ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ СТИХИЙНЫХ БЕДСТВИЙ

7. ВОЗМОЖНОСТИ ДЕТЕРМИНИСТИЧЕСКОЙ ПРОГНОСТИКИ ОПАСНЫХ ЯВЛЕНИЙ ПРИРОДЫ

Проблема прогноза опасных явлений природы может быть решена только совместными усилиями ученых, представляющих все отрасли современной геофизики и астрономии. Многочисленны работы, посвященные прогнозам в астрономии, гелиогеофизике, геологии и гидрологии. Однако не будет преувеличением сказать, что наиболее велики достижения в метеорологическом прогнозировании. В поисках наиболее точных методов прогноза опасных явлений погоды метеорологи используют все известные подходы и идеи.

Сложно хотя бы в общих чертах систематизировать используемые приемы прогнозирования. По степени формализации процедуры составления прогноза приемы прогнозирования можно разделить на два класса: интуитивные и формальные [10]. К интуитивным относятся методы системно-структурного анализа, более известные как индивидуальные и групповые методы экспертных оценок (сценариев). Синоптический метод составления краткосрочного прогноза погоды с заблаговременностью 24–36 ч является примером технологии индивидуального экспертного подхода. Групповая экспертная оценка, известная как "мозговая атака", часто применяется специалистами при разработке окончательных формулировок прогнозов погоды различной заблаговременности, особенно в условиях неполноты исходных данных.

Класс формальных методов состоит из ассоциативных методов, методов опережающей информации и методов экстраполяции. В качестве примера ассоциативных методов можно привести метод численных прогнозов погоды, основанный на компьютерном решении системы уравнений гидро- и термодинамики атмосферы. Эта система уравнений представляет собой физико-математическую модель реальных геосфер. От точности модели и полноты исходных данных зависит успех прогноза. Группа методов опережающей информации активно используется для перехода от предвычисленной синоптической ситуации к стохастически зависящим от нее элементам и явлениям погоды. Эта технология получила название метода

модельной статистики. Наконец, метод экстраполяции применяется при составлении сверхкраткосрочных прогнозов, которые приходится подготавливать в условиях неполноты данных о погоде в регионе.

Сразу отметим, что в практике прогноза уже давно снят вопрос о том, какие методы лучше: формальные или неформальные. Дело в том, что прогноз опасных явлений природы обязательно ориентирован социально, а значит должно существовать конкретное лицо, ответственное перед обществом за качество прогноза. Поскольку таким лицом, естественно, является человек, то интуитивные методы прогноза обязательно входят в его личный арсенал средств, обеспечивая ему возможность выполнения задач прогноза в кризисных условиях. Формальные методы являются высокоценным дополнением к общему объему предпрогнозной информации.

Итак, лицо, принимающее решение о прогнозе, основываясь на исходной информации и социально-экономической ситуации, выбирает из числа собранных прогностических вариантов тот, который ему представляется наиболее обоснованным. Производя этот выбор, он обязательно принимает во внимание соотношение между заблаговременностью составляемого прогноза (L) и продолжительностью эволюционного цикла объекта прогнозирования (P). Отношение этих величин $\tau = L/P$ позволяет сделать вывод о возможности применения того или иного класса методов прогноза.

Если справедливо соотношение $\tau \ll 1$, то такой прогноз называется краткосрочным, и для него будут высокоуспешными варианты, получаемые формализованными методами. В условиях, когда выполняется приближенное равенство $\tau \approx 1$, в период действия прогноза может закончиться эволюционный цикл объекта прогнозирования. Как говорят метеорологи, возможна резкая перестройка условий. В этом случае интуитивные методы, основанные на аналогии в ходе событий, могут оказаться предпочтительнее формальных. Если прогноз требуется подготовить в условиях, когда $\tau > 1$, то современные формальные методы оказываются бессильными, аналогии редко существуют, а потому остается возможным только прогноз вероятностей тех или иных исходов.

В следующем разделе приведены рассуждения специалистов, далеких от метеорологического прогноза, но они очень интересны, так как позволяют по-новому взглянуть на проблему прогноза ОЯП с заблаговременностью, удовлетворяющей условию $\tau \leq 1$. При

этом подразумевается, что желательно использовать детерминистические методы, а не вероятностный прогноз.

7.1. Общие принципы детерминистического подхода к прогнозу катастроф

Методика прогноза чрезвычайных ситуаций, предложенная в работе [11], основана на положениях синергетики, разрабатываемых бельгийским ученым лауреатом Нобелевской премии И. Пригожиным. Предметом синергетики являются локальные открытые нелинейные структуры, развитие которых в любой системе происходит в определенных режимах.

Открытость структур подразумевает их взаимодействие с остальными системами, а нелинейность – воздействие на структуру большого количества факторов, что приводит к сложным режимам. Этим условиям удовлетворяет подавляющее большинство локальных систем и процессов, с которыми приходится сталкиваться на практике.

Для иллюстрации предположим, что изменение во времени состояния некоторой динамической системы регистрируется с помощью одного индикационного показателя $ИП(t)$. Линейный устойчивый режим функционирования системы характеризуется вполне предсказуемым характером графика хода $ИП(t)$. Он может иметь вид плавно изменяющейся или колеблющейся около определенного значения кривой.

Локальные открытые нелинейные системы развиваются, в зависимости от сложившихся в них равновесных или неравновесных условий, в определенных режимах. Эти режимы называются: линейным устойчивым (при равновесных условиях), нелинейным (при нарушении равновесных условий) или экстремальным лавинообразным (при обострении неравновесных условий).

Условное графическое изображение этих режимов показано на рис. 4.

Нелинейный неустойчивый режим развития сопровождается возникновением колебаний и ростом их амплитуды, в результате чего система начинает раскачиваться, и ее развитие может пойти тем или иным путем под воздействием незначительных, часто случайных факторов. Эта характерная область развития природных процессов получила название на графиках их развития точки бифуркации, т.е. равных возможностей развития системы. В результате экстремального развития система переходит на новый качественный уровень, на котором вновь формируются новые равновесные

условия. Развитие локальной системы на этом уровне продолжается в линейном, устойчивом режиме до сохранения равновесных условий. Изложенные представления о режимах развития локальных систем дают возможность оценить режим природных процессов с точки зрения его опасности.

ИП(t)

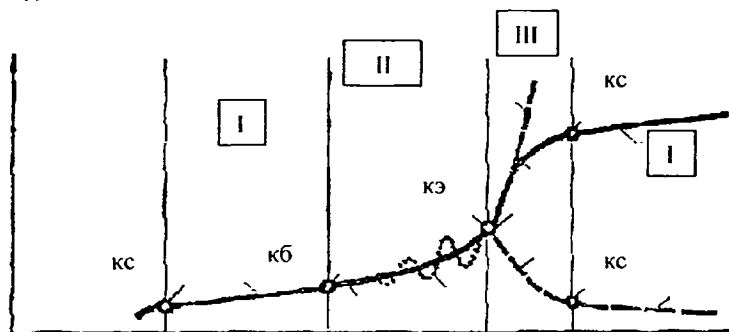


Рис. 4. Режимы развития потенциально опасных природных процессов, показывающие рост индикационного показателя $ИП(t)$.

Основные контрольные точки: КС – начало линейного устойчивого процесса (режим I); КБ – начало нелинейного неустойчивого процесса с ростом колебаний (режим II); КЭ – начало неустойчивого лавинообразного развития (режим III)

Линейный, устойчивый режим развития является практически безопасным, поскольку он свидетельствует о стабильности системы, надежно прогнозируется и может достаточно просто учитываться в деятельности человека. Нелинейный неустойчивый режим уже является опасным, так как в системе начинают накапливаться дефекты, появляются всевозрастающие флуктуации, резко уменьшающие надежность прогнозов, а также появляется возможность перехода процесса в режим экстремального развития.

Наконец, экстремальный режим развития является наиболее опасным, поскольку в этом режиме в системе происходит лавинообразный рост дефектов, и процесс выходит за пределы возможности управления его развитием. Именно экстремальный режим развития системы создает условия, которые в практической деятельности определяются как чрезвычайная ситуация, нередко имеющая катастрофические последствия.

Если процессы деформации трубопроводов, оснований сооружений, фильтрации из хвостохранилищ, загрязнения окружающей

среды характеризуются небольшими постоянными величинами, это говорит о том, что развитие процессов происходит в линейном устойчивом режиме и не представляет непосредственной опасности. Когда же происходит внешне незаметное нарушение равновесных условий, определяющих развитие природных процессов, начинается некоторое увеличение показателей, обычно незаметное для наблюдателей. Деформации, фильтрационные утечки, поступление загрязняющих веществ остаются как будто на прежнем уровне, однако линейность развития процессов уже нарушена. При этом рост показателей этих процессов может быть весьма медленным, что создает условия привыкания наблюдателя к незаметному росту показателей. Неожиданно деформации приводят к разрыву трубопровода, разрушению сооружений, резкое увеличение фильтрации – к аварийным утечкам токсичных веществ из хвостохранилищ и т.д.

Это катастрофическое развитие процессов можно предвидеть, анализируя изменение во времени индикационных показателей (ИП). Появление нелинейного режима развития, даже при незаметном росте самих показателей, указывает на начало развития процесса в нелинейном неустойчивом режиме, т.е. сигнализирует о появлении опасности и говорит о необходимости заблаговременной разработки мероприятий, предотвращающих дальнейший рост показателей. Кроме этого, соответствующая обработка материалов наблюдений позволит определить возможность катастрофического развития процессов (опасность катастрофического развития процессов), определив максимально возможное увеличение показателей, а главное – сроки этого увеличения. Другими словами, появляется возможность прогноза ЧС с определением вероятного времени их возникновения и определением предельно допустимых и критических значений показателей развития процессов.

Рассмотренные режимы развития системы требуют совершенно разных подходов при управлении объектом. Если при линейном, устойчивом режиме развития процесса практически не требуется никаких управляющих решений, то при смене режима развития на нелинейный неустойчивый режим управляющие решения необходимы для предотвращения экстремального лавинообразного режима, т.е. для предотвращения ЧС. Нелинейный неустойчивый режим развития является оптимальным для реализации управляющих решений. Момент "приложения" усилий (реализации управляющих

решений) следует оптимально вписывать в фиксируемые флуктуации процесса. Момент усилий должен соответствовать максимальному развитию флуктуации в нужном направлении, чтобы при "раскачивании" системы направить ее дальнейшее развитие по нужному руслу. Это обеспечивает максимальный эффект при минимальных затратах.

При экстремальном лавинообразном режиме развития управление процессом, как правило, уже невозможно, однако появляется необходимость оперативного принятия решений для спасения людей, природных и материальных ценностей. При этом решения, сопряженные с большой ответственностью, приходится принимать в обстановке дефицита информации и времени. В этих условиях требуется использовать заранее разработанные сценарии развития ситуаций и варианты управляющих решений, т.е. специальную подготовку к работе в ЧС. Это еще раз подчеркивает необходимость прогноза ЧС и подготовки к ее возникновению в случае невозможности предотвращения.

В соответствии с изложенными оценками опасности режимов развития выделены несколько моментов развития системы, которые называются критериями безопасности природных процессов. Критерий стабильности (КС) показывает момент выхода развития в устойчивый линейный режим, характеризующийся безопасностью. Критерий безопасности (КБ) фиксирует окончание безопасного режима и переход развития в опасный нелинейный неустойчивый режим. Критерий экстремальности (КЭ) отмечает начало экстремального лавинообразного режима развития процесса, соответствующего возникновению чрезвычайной ситуации (см. рис. 4).

Изложенный подход позволяет при выполнении натурных наблюдений или исследований катастроф сконцентрировать внимание на регистрации критериев безопасности развития природных процессов, оценивать на их основании степень безопасности системы, прогнозировать возникновение чрезвычайной ситуации и определять необходимость принятия управляющих решений для их предотвращения.

Наглядными примерами последствий неправильной интерпретации режимов развития природных процессов могут служить катастрофические смещения оползней. В Италии на водохранилище Вайонт велись наблюдения за движением оползня. Наблюдатели не пытались выявить момент перехода линейного устойчивого разви-

тия в нелинейный неустойчивый и далее в экстремальный лавинообразный режимы. Несмотря на благополучные прогнозы, произошло катастрофическое смещение оползня, вызвавшее гигантскую волну, которая перехлестнула плотину и унесла жизни более 2 тыс. жителей поселков в нижнем бьефе гидроузла. По графику наблюдений за смещениями можно было заблаговременно определить опасный характер развития смещения оползня, заранее спустить накопленную в водохранилище воду и избежать ее выплескивания через плотину в густонаселенную долину.

В Китае на руднике Хянгбичань удалось вывести людей и технику из опасной зоны всего за два дня до катастрофического смещения оползня в карьере. Однако критерий экстремальности развития смещений был превышен за три недели до этого. Именно тогда надо было выводить людей и технику из зоны смещения оползня, не подвергая их совершенно неоправданному риску. Только счастливая случайность спасла рабочих от гибели.

В России на Загорской ГАЭС в районе напорного трубопровода также был обнаружен оползень. При строительстве, несмотря на незначительные величины его смещения, по изложенной методике был выявлен нелинейный неустойчивый режим движения оползня и сделан прогноз времени наступления катастрофического ускорения смещений. После проведения специальных дренажных и укрепительных мероприятий положение оползня стабилизировалось. Выполнение специально организованного мониторинга на Загорской ГАЭС позволило обеспечить безопасность объекта.

При относительной простоте разработанной методики требуются определенные навыки специалистов для выбора индикационных показателей, определения критериев безопасности, оценки состояния сооружения и разработки управляющих мероприятий для предотвращения ЧС.

7.2. Анализ применимости общих принципов в случае прогноза опасных конвективных явлений

Когда наблюдатель применяет термин "погода", специалисты понимают, что он имеет в виду область своего визуального наблюдения или область репрезентативности измерений тех величин, которые однородны на большей площади, чем та, которая ограничена радиусом горизонтальной видимости наблюдателя. Радиус горизон-

тальной видимости обычно не превышает 5–10 км, а радиус репрезентативности наблюдений, например, за температурой воздуха на метеорологической станции обычно считается равным примерно 30 км. В обоих случаях площадь, к которой можно отнести область применимости понятия "погода", для конкретного наблюдателя не превышает 500–1000 км².



Рис. 5. Схема формирования локальной погоды под влиянием атмосферных процессов разных пространственных масштабов и характерных времен

Погода, наблюдаемая в каком-либо конкретном месте, может не отличаться от погоды в окружающих районах, но может иметь и особый характер [10]. В последнем случае проявляется воздействие на локальную погоду со стороны малых возмущений, чаще всего вызванных особенностями ландшафта. Однако в любом случае характер погоды в рассматриваемом районе определяется синоптическим фоном. Схема формирования локальной погоды, приведенная на рис. 5, показывает, какие атмосферные процессы различных масштабов следует учитывать при прогнозе. Эти характеристики определяют позиции возникновения и траектории перемещения важнейших элементов синоптического положения – циклонов и антициклонов. Кроме того, они влияют на формирования теплых и устойчивых или холодных и неустойчивых воздушных масс. Таким

образом, макрометеорологический процесс создает предпосылки для появления в определенных регионах воздушных масс с определенными свойствами и определяет пути перемещения барических образований.

Синоптическое положение формирует общий фон атмосферных процессов над регионом в конкретный день. Например, циклоническая циркуляция создает в атмосфере области конвергенции, что способствует возникновению вертикальных токов, т.е. приводит к усилению и, в конечном счете, реализации неустойчивости воздушных масс. Так создаются условия для появления атмосферных фронтов (основных и вторичных) и линий неустойчивости, а также мезомасштабных конвективных комплексов.

Именно с этими синоптическими объектами метеорологи связывают возникновение угрозы опасных конвективных явлений погоды, т.е. ливней, гроз, града или шквалистых ветров. Однако конкретные места возникновения мезомасштабных объектов очень сильно и сложно зависят от направления атмосферных потоков в нижней и средней тропосфере, а последние очень чувствительны к топографическим особенностям районов.

Наконец, важнейшим регулятором температуры и влажности в нижнем слое атмосферы являются характеристики подстилающей поверхности, которые отличаются очень сильной неоднородностью по пространству, в результате чего даже при благоприятных мезомасштабных условиях для развития опасных конвективных явлений в районе могут существовать участки территорий, где ливни, грозы и град наблюдаются реже, чем следовало бы в соответствии с повторяемостями этих явлений в среднем по району [10].

Все это позволяет заявить, что, рассматривая условие возникновения опасных конвективных явлений, приходится иметь дело со сложной динамической системой, нелинейной по характеру связей, открытой и диссипативной. Все это соответствует условиям, указанным в п. 7.1.

Для того чтобы выявить необходимый для проверки общих положений индикационный показатель развития опасных конвективных явлений, следует вспомнить их некоторые свойства, известные из синоптической и динамической метеорологии.

7.2.1. Ливни

Опасными могут быть ливневые дожди, которые связаны с суперячейковыми кучево-дождевыми облаками. Они имеют среднюю интенсивность 0,25 мм/мин, вносят более 80% в общую сумму осадков за дождь и длятся до 1 ч 40 мин при любой продолжительности дождя. Известные случаи длительных дождей ливневого характера представляют собой объединения отдельных сильных ливней, связанных периодами обложных осадков длительностью от получаса.

О физике ливневых дождей известно много, но далеко не все. Необходимые для выпадения ливневых осадков условия можно разделить на две группы: а) условия, определяемые синоптическим процессом, формирующим возможные термические и влажностные предпосылки для осадков; б) условия формирования вертикальных скоростей у нижней границы облака, которые приводят к насыщению воздуха и определяют возможность реализации условной неустойчивости. Только выполнение обеих групп условий может содействовать установлению в рассматриваемом районе периода выпадения дождей.

Важнейшей характеристикой для параметризации процессов, протекающих в кучевом облаке, является толщина облака (H). Она зависит главным образом от скорости конвективных вертикальных токов в облаке. Поскольку ее можно регистрировать визуально или по данным МРЛ, то значение толщины облаков даст большую информацию о значении максимальных вертикальных скоростей в облаке. Именно поэтому удастся установить функциональные зависимости, выражающие параметры функции распределения капель по размерам через H . Например, уже давно выявлены связи между толщиной облачности и площадью, которую она занимает, а также плотностью вероятности площади отдельных облаков. Эти связи можно аппроксимировать формулами:

$$S = 0,0003H^{6,7}; \quad (7.1)$$

$$P = 123(S/S_0)^2 \exp[-1,6(S/S_0)], S_0 = 1620. \quad (7.2)$$

Это позволяет получить формулы для оценок водности облаков, интенсивности осадков и скорости их испарения в подоблачном слое в зависимости от толщины облака. Для оценок полезна полуэмпирическая, но физически обоснованная зависимость средней максимальной интенсивности осадков из конвективного облака J (мм/ч) от H (км):

$$J = 0,1H^{3,5}. \quad (7.3)$$

С помощью известных из гидрологических исследований зависимостей можно установить статистическую связь продолжительности осадков и их интенсивности. Такие зависимости существенно неоднородны по пространству, но общей их особенностью является степенной характер при отрицательном показателе степени. Для Северо-Запада России приближенную оценку продолжительности (T) выпадения осадков над пунктом (мин) можно получить в зависимости от средней максимальной интенсивности (мм/ч) по формуле

$$T = 50(J/60)^{-0,22}. \quad (7.4)$$

Зная интенсивность и продолжительность осадков, можно приближенно оценить их величину (Q), просто перемножив их. (Уточненные оценки количества осадков за дождь по средней максимальной интенсивности можно получить, опираясь на результаты Ж.А. Алибеговой.) Можно также оценить кинетическую энергию потока падающих капель E (дж/м²) в зависимости от интенсивности осадков. Для этого можно воспользоваться зависимостью, график которой приведен в работе И.В. Литвинова [12]. Эту зависимость можно аппроксимировать формулой

$$E = 0,011J. \quad (7.5)$$

7.2.2. Грозы

Гроза – это атмосферное явление, выражающееся в многократных электрических разрядах (молниях) между разными частями облака или между облаком и Землей. В результате многолетних исследований разных авторов установлено, что для развития грозы необходимо образование ливневых осадков из кучево-дождевых облаков. Результаты измерений высоты верхней границы грозовых облаков показали, что они находятся в области температур ниже -20°C , что свидетельствует об интенсивной кристаллизации. Высота верхней границы грозовых облаков в среднем на 3,5 км выше, чем у ливневых облаков и составляет примерно 9,6 км в умеренных широтах.

Неоднократно утверждалось, что существует ярко выраженная корреляционная зависимость между частотой молний и интенсивностью осадков. Были сделаны оценки, согласно которым 1 разряд молнии соответствует 15–30 т воды выпавших осадков. Эти связи

имели теоретическое обоснование. Теория указывает также на то, что при постоянной интенсивности осадков 0,6 мм/мин время восстановления электрического заряда в облачной ячейке радиусом 3 км занимает 20 сек., а в ячейке радиусом 5 км – 5 сек.

Формула для определения частоты молний f_w (1/мин) от характеристик облачной ячейки имеет вид:

$$f_w = \alpha(H_{ВГ} - H_{I=-20})/H_{I=0} R/R_0 (j-j_0)/H_{НГ}, \quad (7.6)$$

где α – коэффициент (при осреднении по 15 мин этот коэффициент равен 1,3); $H_{ВГ}$ – высота верхней границы облака; $H_{НГ}$ – высота нижней границы облака; $H_{I=-20}$ – высота изотермы -20°C ; $H_{I=0}$ – высота изотермы 0°C ; R – радиус грозовой ячейки; $R_0 = 1$ км; j – интенсивность осадков, мм/мин; $j_0 = 0,1$ мм/мин.

При выполнении неравенств $H_{ВГ} < H_{I=-20}$ или $j < j_0$, $f_w = 0$, т.е. гроза отсутствует.

7.2.3. Град

Град, как известно, – это явление выпадения из кучево-дождевого облака шарообразных частиц льда. Размер этих частиц от 1 до 25 мм, хотя известны случаи выпадения градин радиусом 15 см и более. Градины образуются в результате замерзания переохлажденных капель, сливающихся с зернами крупы или снежинками.

Наземные наблюдения показывают, что почти всегда град выпадает во время грозы и сопровождается количеством осадков более 40 мм. Отношение повторяемости града к повторяемости грозы практически не зависит от густоты сети наблюдений. Интенсивность выпадения осадков во время града обычно является максимальной. Молниевая активность градовых облаков сильнее, чем у облаков без града, но с грозой. Верхняя граница градовых облаков примерно на 8 км выше, чем у облаков с грозой, но без града. Наибольшая молниевая активность зафиксирована в период выпадения града. Начало грозы обычно предшествует началу выпадения града.

Продолжительность выпадения града очень редко превышает 30 минут, хотя и известны случаи выпадения продолжительностью более 1 ч. Наиболее вероятна продолжительность 5–10 мин.

В результате градобитий могут возникать серьезные разрушения крыш, стекол, посевов, садов, лесов, гибель крупного скота и даже человеческие жертвы. Разрушения усиливаются при шквале,

так как горизонтальная составляющая ветра увеличивает запас кинетической энергии градин и делает более уязвимыми вертикальные поверхности зданий (окна, двери). Важно, что поражающая сила града растет с высотой места, так как скорость падения градин обратно пропорциональна атмосферному давлению.

Установлены условные критерии интенсивности градобитий. За показатель интенсивности принята площадь повреждения сельскохозяйственных культур на 100 000 га (1 км² содержит 100 га). Градобитие считается катастрофическим, если более 1000 га из этой общей площади было повреждено градом, сильным – если повреждено от 300 до 1000 га, умеренным – если было повреждено до 300 га, слабым – если наблюдалось выпадение града или крупы без существенных повреждений сельскохозяйственных растений.

Разрушительная сила града связана с размером падающих градин. Он зависит от значений максимальной скорости восходящих потоков в облаке, которые поддерживают растущую градину, пока ее вес не окажется слишком большим. Вторым фактором, влияющим на размер града, является высота уровня изотермы 0°C в облаке, которая определяет путь градины в условиях таяния. На этом пути размер градин уменьшается за счет таяния. Методы оценки этой и других характеристик града предложены разными авторами.

7.2.4. Шквал

Шквал представляет собой внезапное изменение направления ветра, сопровождающееся резким увеличением его скорости. Он связан с существованием мощного кучево-дождевого облака, которое непрерывно поддерживается на линии неустойчивости или фронте. Внешне это проявляется в виде крутящегося вала низких разорванных облаков, несущегося впереди облачной массы.

Если скорость ветра в шквале превышает 25 м/с, то обычно идет сильный ливень с грозой, а часто и с градом. Только при таких шквалах могут возникать смерчи. Шквалы с меньшими скоростями нередко наблюдаются самостоятельно. Шквалы часто бывают четко выражены в изменении давления во времени. При приближении шквала оно сначала падает, а затем резко растет и далее снова падает, образуя на барограмме кривую, известную как "шкваловый нос".

Шквалы принято связывать с сильными нисходящими потоками воздуха, предвещающими выпадение капель дождя. На это ука-

зывает резкое понижение температуры при прохождении шквала. Линии тока в таком потоке отклоняются от вертикали в сторону по мере приближения к земной поверхности, при этом усиливается ветер. Однако скорость перемещения фронта или линии неустойчивости, с которыми может быть связан шквал, зависит от скорости смещения воздушных масс и оказывается значительно меньше, чем скорость ветра. Поэтому воздух, движение которого создает шквал, циркулирует как танковая гусеница, участвуя одновременно в быстром вращении с горизонтальной осью и сравнительно медленном поступательном движении.

Скорость ветра в шквале регистрируется метеорологическими наблюдениями. С помощью указанной физической схемы можно связать ее с неизмеряемыми характеристиками состояния атмосферы в передней части зоны шквала. Например, зная скорость ветра (V), считая, что ветер в зоне шквала дует по нормали (n) к направлению ее перемещения, и используя натуральную систему координат для описания движения воздуха плотностью ρ , можно оценить градиент давления ($\partial P/\partial n$) по перпендикуляру к зоне шквала по формуле

$$\partial P/\partial n = -3V^2/R, \quad (7.7)$$

где R – радиус кривизны зоны или линии шквала.

Для $V = 30$ км/ч, $\rho = 1,3$ кг/м³, $R = 1$ км градиент давления составит 0,9 гПа/км.

Если предполагать, что сразу после порыва шквала начался полчасовой ливень и что ширина зоны конвективной облачности 10 км, то можно оценить скорость ее перемещения 20 км/ч. Если область максимальных нисходящих токов располагается в центре зоны конвективной облачности, то можно считать, что именно там скорость ветра падает до нуля, а давление при прохождении облака через пункт наблюдений за полчаса падает на 4,5 гПа, а далее будет возрастать.

Возрастание давления вызвано работой, которую совершает холодный воздух осадков, опускаясь до земли и передавая свою кинетическую энергию E при торможении. Эта кинетическая энергия является энергией неустойчивости холодного воздуха осадков в более теплой облачной среде, а значит, может быть рассчитана по формуле

$$E \sim \ln(P_0/P_h)\Delta T, \quad (7.8)$$

где P_0 – давление у земли; P_h – давление на уровне образования осадков; ΔT – средняя разность температуры облака и зоны осадков.

Температура облаков практически не отличается от температуры воздушной массы, в которой они сформировались. Температура зоны конвективных осадков обычно считается равной температуре смоченного термометра, помещенного в частицу воздуха с каплями дождя на уровне образования осадков. Эта величина также оценивается по доступным из наблюдений данным. Существование зависимости между разностью температур и скоростью ветра является основой для получения большинства формул для прогноза скорости ветра в шквале.

Как показали исследования, развитие сильных шквалов происходит в районе смыкания кучево-дождевых облаков двух изолированных мощных конвективных систем.

7.3. Анализ методов прогноза опасных конвективных явлений с позиций общих принципов

Как видно из вышеизложенного, для того чтобы возникли опасные конвективные явления, нужно оценить возможность того, что выпадут ливневые осадки. Для этого необходимы следующие условия: а) в атмосфере должен существовать конвективно-неустойчивый слой (КНС); б) внутри КНС должны быть положительные вертикальные скорости, достаточные для подъема воздуха до уровня конденсации в области с горизонтальными размерами, подходящими для возникновения облачного ансамбля; в) облачный ансамбль должен иметь характеристики, допускающие образование S_b ожидаемой толщины; г) ожидаемая толщина S_b должна превосходить критическое для выпадения осадков значение; д) осадки должны быть достаточно интенсивными, чтобы не испариться в подоблачном слое.

Возникновение условий, благоприятных для развития ливней в регионе (без конкретизации точки угрозы), может быть спрогнозировано с заблаговременностью от 12 до 72 ч. Оправдываемость такого прогноза достигает 85%. Для больших сроков можно только указать вероятность усиления конвективной деятельности в атмосфере над районом. Оценить вид конвективных явлений и градиацию их интенсивности пока не удастся. Прогноз условий проводится по

данным, которые по процедуре их получения являются сглаженными и описывают только фоновые характеристики атмосферы над регионом. Это значит, что говорить о нахождении индикационного показателя развития опасных конвективных явлений можно только при прогнозе с малой заблаговременностью.

В настоящее время еще нет надежных методов прогнозирования позиций возникновения мезомасштабных областей конвекции даже с заблаговременностью 6–12 ч. Однако с помощью наблюдений метеорологических спутников Земли и радиолокационных систем удастся обнаружить уже возникшие конвективные системы на достаточно большом расстоянии от пункта, для которого составляется прогноз опасного конвективного явления. Это позволяет составлять предупреждения о возможности прохождения опасных конвективных явлений через рассматриваемый пункт с заблаговременностью в несколько часов. Значит, что только для таких заблаговременностей можно говорить о детерминистическом прогнозе опасных конвективных явлений.

В качестве индикационного показателя в соответствии с опытом синоптического прогнозирования следует взять радиолокационную отражаемость. На экране радиолокатора летом можно распознать очаги конвективных осадков в зоне с радиусом обнаружения 150–200 км. Система наблюдений позволяет следить за перемещением опасной зоны по горизонтали и путем экстраполяции устанавливать будущее положение зон ливневых осадков. Но даже при очень благоприятных условиях контроль возможен с заблаговременностью 8–12 ч.

Критические значения индикационного параметра в этом случае можно отождествить с увеличением преобладающей высоты радиозаха, поскольку опытным путем установлена зависимость интенсивности осадков от этой высоты и получены критерии перехода облака в грозное состояние или присутствие града. Однако можно только обнаруживать переходы. Прогнозируется только перемещение облака по горизонтали, а не переход его в следующую стадию опасного состояния.

Наконец, следует отметить, что в случае обнаружения опасности града может быть произведено активное воздействие на ход процесса с целью предотвращения особо опасных градобитий. Это значит, что в случае детерминистического прогноза возможности

перехода индикационного параметра через критерий экстремальности (КЭ) можно не только предупреждать последствия катастрофы, но и препятствовать реализации неблагоприятной возможности. Конечно, для этого следует располагать глубокими знаниями природы процесса, как это имеет место при активных воздействиях на градоопасные облака.

Несмотря на то, что детерминистический прогноз может, как показано, способствовать устранению опасной ситуации, следует отметить и его недостатки. Они очень хорошо видны на примере деятельности службы активных воздействий на градобития. Главнейшим является то, что детерминистический прогноз оказывается возможным только тогда, когда индикационный показатель позволил обнаружить опасность, но промежуток времени между обнаружением и переходом опасного состояния в катастрофу может оказаться недопустимо маленьким.

Другим крупным недостатком является сложность обнаружения индикационного показателя. Для того чтобы найти метод, используемый для контроля за облачностью и осадками, пришлось ждать появления принципиально новых методов дистанционного зондирования атмосферы, внедрения их в практику, достаточно долгой эксплуатации для того, чтобы выявить индикационный параметр и определить его критические значения. Так, например, от открытия принципа радиолокации (40-е г. XX в.) до организации службы активных воздействий на градоопасные облака (80-е гг. XX в.) в СССР понадобилось более 30 лет.

По-видимому, можно сделать вывод, что детерминистические методы прогноза опасных явлений природы оказываются полезными только для указанных в начале раздела условий $\tau < 1$, т.е. когда заблаговременность прогноза меньше продолжительности эволюционного цикла объекта. Время жизни кучево-дождевого облака близко к одному часу, поэтому прогноз перехода облака из ливневого в градоопасное состояние невозможен, да и не нужен, а вот время жизни мезоконвективного комплекса, порождающего облака, из которых может выпасть ливень или град, может достигать суток, поэтому перемещение этой облачной системы оказывается возможным отследить и проэкстраполировать.

Сказанное позволяет сделать вывод, что нужно прежде всего для всех опасных явлений природы (ОЯП) определить время эво-

люционного цикла. Тогда можно будет судить о возможности предотвращения природных катастроф. Для тех ОЯП, эволюционный цикл которых окажется так мал, что организация эффективных воздействий будет невозможна¹, следует для увеличения заблаговременности прогноза переходить к изучению условий, благоприятных для развития этих явлений. Комплекс этих условий может оказаться более долгоживущим, как это свойственно мезомасштабным конвективным комплексам, по сравнению с отдельными кучево-дождевыми облаками.

Отметим, что синоптическая метеорология, не рассматривая детальный прогноз опасных конвективных явлений в определенном пункте как реально осуществимую задачу на срок более 24 ч, давно рекомендует прогнозировать только структуры, с которыми они могут быть связаны (благоприятные для развития этих явлений синоптические положения и мезомасштабные комплексы). Заблаговременность прогноза структур может быть существенно больше, а переход к прогнозу конкретных явлений возможен на вероятностной основе.

¹ Не следует забывать, что и активные воздействия на облака в начале XX в. считались фантастическими проектами.

8. ВОПРОСЫ ВЕРОЯТНОСТНОГО ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ОПАСНЫХ ЯВЛЕНИЙ ПРИРОДЫ

Обсуждая особенности вероятностного прогнозирования опасных явлений природы, приходится иметь дело с двумя основными аспектами этой проблемы: во-первых, нужно уметь предсказывать сам факт возникновения такого явления, а во-вторых, нужно оценить, какой интенсивности развития оно достигнет, если будет иметь место. И факт возникновения, и интенсивность являются случайными величинами, причем на данной стадии изученности ОЯП их следует признать статистически независимыми.

Как случайные величины факт возникновения и интенсивность относятся к разным классам. Случайная величина, описывающая факт наличия или отсутствия ОЯП, является непрерывной во времени, но дискретной по значениям, так как может быть равна в любой момент только 1 (явление есть) или 0 (явления нет). Случайная величина, описывающая интенсивность ОЯП, является дискретной по времени, так как равна нулю, когда явления нет, но значения ее при наличии явления могут быть любыми, чаще всего положительными числами. Это нужно постоянно иметь в виду, выбирая для моделирования этих случайных величин закон распределения вероятностей.

Но есть и третий важный аспект вероятностного прогнозирования опасных явлений природы. По своей природе они являются не просто экстремальными состояниями некоторых величин, а очень редкими состояниями. Только так они могут приводить к губительным последствиям, поскольку за период эволюционного развития социумы давно приспособились к состояниям природы, являющимся регулярно повторяющимися экстремумами. Можно принять, что критерием опасности явления природы будет выход индикационного показателя ОЯП за пределы, в которых он должен находиться с вероятностью 90%.

8.1. Распределения вероятностей характеристик катастроф

Для грамотной работы в области исследования ОЯП следует знать свойства наиболее часто применяемых распределений вероятностей. Здесь они будут перечислены только очень кратко. Наиболее полные исследования этих распределений были опубликованы в работах [13, 14].

8.1.1. Биномиальное распределение

Согласно определению, случайная функции β_i , моделирующая возникновение двух состояний системы, может принимать только значения 1 или 0. Это значит, что в каждом временном сечении она является случайной величиной, имеющей биномиальное распределение вероятностей. Это распределение полностью определяется заданием вероятности p единичного события (катастрофы) за рассматриваемый календарный период. Зная p , можно вычислить вероятность P_{mN} любого числа событий m за календарный период, состоящий из N дней по формуле

$$P_{mN} = C_N^m p^m (1-p)^{N-m}. \quad (8.1)$$

Известно, что математическое ожидание $m_m = \mu$ и среднее квадратичное отклонение s_m числа событий связано для этого закона распределения с параметром p равенствами

$$\mu = Np; s_m = Np(1-p). \quad (8.2)$$

Эти равенства важны, так как позволяют оценить параметр p по данным наблюдений.

Катастрофы являются редкими событиями и значения вероятности p обычно не превышают 0,1 (одна катастрофа за десять лет). Поэтому для оценки риска можно использовать вероятность события, состоящего в том, что за календарный период произойдет одна катастрофа и более $P_{m > 0 N}$. Свойства биномиального распределения позволяют получить для оценки этой вероятности, а значит, и риска m_β формулу

$$m_\beta = P_{m > 0 N} = 1 - P_{m = 0 N} = 1 - (1 - \mu/N)^N \approx 1 - e^{-\mu}. \quad (8.3)$$

Применительно к анализу очень редких событий недостатком биномиального распределения обычно считают то, что оно слишком грубо описывает поведение случайных величин, и оценка параметров сильно зависит от длины реализации исходных данных.

8.1.2. Распределение Пуассона

Закон распределения Пуассона является предельным случаем биномиального распределения в условиях, когда длина выборки растет неограниченно, а вероятность возникновения отдельного со-

бытия за малый интервал времени возрастает пропорционально длине этого интервала. В отличие от биномиального распределения, которое характеризуется двумя параметрами (N и p), распределение Пуассона является однопараметрическим и имеет вид

$$P_n(k) = \lambda^k \exp(-\lambda)/k!; \lambda = np. \quad (8.4)$$

Здесь λ – параметр распределения, n – длина выборки, k – заданное число благоприятных исходов события.

Примером ситуации, в которой специалист должен применять распределение Пуассона, может быть такая. Предположим, что известна вероятность выпадения интенсивного одного ливня за сутки в пустыне, она равна 0,1. Выпадение хотя бы одного ливня за месяц (30 дней) благоприятно для земледелия. Выпадение пяти и более ливней подряд приводит к наводнениям. Оценить вероятность: а) хотя бы одного ливня; б) пяти ливней; в) менее пяти ливней; г) пять и более ливней.

Для решения этой задачи нужно учесть, что события (выпадения ливней) являются редкими и поэтому могут считаться независимыми. Эти соображения в сочетании с характером события (есть/нет) наталкивают на мысль, что распределение числа событий в выборке должно подчиняться распределению Пуассона (8.4). При этом $n = 30$, $\lambda = 30 \cdot 0,1 = 3$. Правильный расчет ожидаемой вероятности зависит от выбора k . Только для варианта б можно подставить $k = 5$ в формулу (8.4) и получить правильный результат: $P_{30}(5) = 3^5 \exp(-3)/5! = 0,1008$.

Сложнее рассчитать вероятность того, что ливней будет менее пяти. Это возможно, если учесть, что вероятность такого события равна сумме вероятностей следующих независимых событий: было ноль ливней, один ливень, два ливня и так далее до четырех ливней. Правильный ответ дается выражением

$$\begin{aligned} &P_{30}(0) + P_{30}(1) + P_{30}(2) + P_{30}(3) + P_{30}(4) = \\ &= \exp(-3)(3^0/0! + 3^1/1! + 3^2/2! + 3^3/3! + 3^4/4!) = \\ &= 0,049787 + 0,149361 + 0,224042 + 0,224042 + 0,168031 = 0,8153. \end{aligned}$$

Для оценки вероятности случая выпадения более пяти ливней следует учесть, что это событие является противоположным по отношению к предыдущему. То есть обязательно будет либо пять и

более ливней, либо менее пяти. Это значит, что вероятность этого события P может быть вычислена по формуле $P = 1 - [P_{30}(0) + P_{30}(1) + P_{30}(2) + P_{30}(3) + P_{30}(4)] = 1 - 0,8153 = 0,1847$.

Аналогично рассчитывается вероятность хотя бы одного ливня. Это событие имеет противоположное событие – не было ни одного ливня. Вероятность последнего является значением величины $P_{30}(0) = 3^0 \exp(-3)/0! = 0,0498$. Поэтому вероятность рассматриваемого события (P) дается выражением $1 - P_{30}(0)$ и равна 0,95.

Еще одно важное приложение закона Пуассона покажем на другом примере. Вероятность зимней грозы в Санкт-Петербурге, безусловно, очень мала. Допустим, что она равна 0,01. Сколько зимних дней нужно просмотреть в архиве, чтобы с вероятностью не меньше 0,95 найти хотя бы один день с зимней грозой. Поскольку вероятность события мала, а число дней должно быть велико, можно объем необходимой выборки считать случайной величиной, подчиненной закону распределения Пуассона. Событие "хотя бы один день с зимней грозой" (вероятность P) и событие "ни один день в выборке не содержит грозы" [вероятность $P_n(0)$] являются противоположными, поэтому сумма их вероятностей равна единице. Отсюда $P = 1 - P_n(0) = \lambda^0 \exp(-\lambda)/0! = 1 - e^{-\lambda}$. Для того чтобы выполнялось требование $P \geq 0,95$, необходимо, чтобы $\lambda \geq 2,9957$. При определении $\lambda = np$ и при заданном значении $p = 0,01$ число зимних дней в выборке должно быть не менее 300.

Интересным приложением распределения Пуассона является оценка вероятности серий однородных событий (см. [13]). Пусть известно, что на р. Волге в р-не Ярославля из 79 лет наблюдений имела место наиболее продолжительная серия из 11 маловодных лет. Определить, с какой вероятностью можно ожидать появления двух серий маловодных лет с длительностью не менее 7 лет в выборке, состоящей из 85 наблюдений.

Появление серии лет с пониженной водностью можно считать редким событием. В первом приближении можно принять, что связи между величинами годового стока смежных лет отсутствуют. При этих предположениях можно для описания вероятности длительности k серий из R лет применить распределение Пуассона. Тогда вероятность $P(R_k) = \lambda^k \exp(-\lambda)/k!$, но для оценки параметра λ , который представляет собой среднее число серий не менее чем из k случаев за n лет (или менее $k + 1$ случаев) требуется использовать

комбинаторику. Количество серий ровно из m случаев из $k + 1$ лет равно C_{k+1}^m . Величина m может принимать любое из $k + 1$ значений. Это значит, что суммарное число всех случаев дается выражением $C_{k+1}^0 + C_{k+1}^1 + C_{k+1}^2 + \dots + C_{k+1}^k$, согласно свойству суммы биномиальных коэффициентов оно равно 2^{k+1} . По смыслу величина λ является обратной по отношению к оценке вероятности менее чем $k + 1$ случаев за n лет. Из этих соображений можно получить формулу для оценки λ в задаче о сериях: $\lambda = n/2^{k+1}$.

Эта формула позволяет по данным задачи (11 маловодных лет из 79 лет наблюдений или 7 маловодных лет из 85 лет наблюдений) оценить вероятность этих событий по формуле Пуассона. Для первого случая $\lambda = 79/2^{11+1} = 0,01929$, а $P(11, 79) = 0,01929/1! \times \exp(-0,01929) = 0,01892$. Для второго случая $\lambda = 85/2^{7+1} = 0,332$, а $P(7, 85) = 0,332^2/2! \exp(-0,332) = 0,0395$.

Важным приложением распределения Пуассона также является моделирование простейших потоков событий, т.е. последовательностей событий, которые наступают в случайные моменты времени и стационарными (вероятность появления k событий не зависит от начала отсчета времени), а также характеризуются отсутствием последствия (вероятность появления k событий не зависит от того, были ли они ранее) и свойством ординарности (невозможностью появления двух и более событий за малый промежуток времени). Для простейших потоков событий формула Пуассона имеет вид

$$P_t(k) = (\lambda t)^k \exp(-\lambda t)/k!, \quad (8.5)$$

где λ – интенсивность потока, т.е. среднее число событий за время t .

В качестве примера рассмотрим статистику извержений вулканов Этна, Келуд, Мауна Лоа и Попокатепетль [4]. Интенсивность потока событий (частота извержений) колеблется от $0,5_{10^{-3}}$ до $50_{10^{-3}}$ мес⁻¹. Примем для примера $\lambda = 3$ мес⁻¹. Вычислим вероятность: а) четырех извержений за два месяца; б) менее четырех; в) не менее четырех извержений за два месяца. Тогда по формуле (8.5) получим в случае а) $P_2(4) = (3 \cdot 2)^4 \exp(-3 \cdot 2)/4! = 0,135$; в случае б) $P_2(k < 4) = P_2(0) + P_2(1) + P_2(2) + P_2(3) = e^{-6} (1 + 6^0/0! + 6^1/1! + 6^2/2! + 6^3/3!) = 0,1512$ и в случае в) $P_2(k \geq 4) = 1 - P_2(k < 4) = 1 - 0,1512 = 0,8488$.

8.1.3. Распределение Пирсона III рода

При описании стихийных бедствий приходится иметь дело не только с предсказанием вероятности факта возникновения катастрофы, но и с контролем превышения некоторыми гидрометеорологическими величинами критических значений. Для этого случая математические модели дискретных случайных величин становятся неприменимыми и следует обратиться к методам описания непрерывных случайных величин. Примерами таких ситуаций являются значения уровня воды по измерениям на гидрометеорологических постах, количество осадков за один дождь и т.д.

Если в качестве f_i выбрать существенно положительную величину, например, величину материального ущерба M_i , или потери людей C_i , или функцию приведенных потерь S_i , то закон распределения случайных значений этих величин обязательно будет существенно асимметричным. Для описания законов распределения случайных величин, непрерывных, но имеющих ограниченное изменение, используются функции распределения Пирсона [13]. Семейство этих функций определяется уравнением для плотности распределения случайной величины x $[p(x)]$ вида

$$dp/dx = p(x+d)/(b_0 + b_1x + b_2x^2). \quad (8.6)$$

Семейство кривых Пирсона обладает важным свойством. Все параметры кривых семейства (d , b_0 , b_1 , b_2) могут быть получены с помощью не более чем четырех первых моментов, которые сравнительно легко и аккуратно можно получить на основе статистической обработки выборок. Необходимые для этого условия имеют вид

$$\begin{aligned} \mu_0 &= \int x^0 p(x) dx = 1, \quad \mu_1 = \int x^1 p(x) dx = 0, \\ \mu_2 &= \int x^2 p(x) dx, \quad \mu_n = \int x^n p(x) dx. \end{aligned} \quad (8.7)$$

Вид дифференциального уравнения для плотности распределения (8.6) и условия (8.7) позволяют получить систему уравнений для нахождения параметров кривых семейства (d , b_0 , b_1 , b_2) по значениям моментов μ_n . Эта система имеет вид

$$d = -b_1; \quad b_0 = -(3b_2 - 1)\mu_2; \quad 2b_1\mu_2 = -(4b_2 + 1)\mu_3. \quad (8.8)$$

Наиболее распространенный частный случай кривой распределения Пирсона – это нормальное распределение, которое легко получить, проинтегрировав (8.6) при условиях, что $b_1 = b_2 = 0$. Однако значения x в этом случае не ограничены, поэтому для анализа индикационных показателей опасных явлений погоды нормальное распределение далеко не всегда применимо.

Для целей анализа природных катастроф более важен другой частный случай – кривая Пирсона III рода, которая возникает, если в (8.6) ввести $b_2 = 0$ и учесть (8.8). Решение (8.6) для плотности вероятности может быть приведено к виду

$$p(x) = \beta^\alpha / \Gamma(\alpha) x^{\alpha-1} e^{-\beta x}. \quad (8.9)$$

В гидрологических исследованиях, где задача оценки вероятностей редких событий изучена наиболее полно, для описания таких распределений применяется трехпараметрическая гамма-функция. Плотность вероятности для нее задается формулой

$$p(x) = 1/\beta\alpha\Gamma(\alpha) \exp(-x/\beta)x^{\alpha-1}. \quad (8.10)$$

В эту формулу введены обозначения $x = (f - f_{\min})/\sigma_f$, $\beta = C_s C_v / 2$, $\alpha = 4/C_s^2$, где C_s – коэффициент асимметрии, C_v – коэффициент вариации, а $f_{\min}$ – минимальное значение потерь.

8.1.4. Распределение вероятностей экстремальных значений Гамбела

Законы распределения Пирсона позволяют использовать весь ряд наблюдений для оценки параметров распределения, с тем чтобы повысить точность и надежность оценивания. Однако часто они оказываются неточными как раз в области малых вероятностей, так как данных там мало и закон распределения приходится экстраполировать. Поскольку по характеру большие потери являются потери экстремальных состояний, возможно, в качестве закона распределения вероятностей превышения материальными потерями x определенного уровня f более пригоден закон распределения вероятностей редких событий Гамбелла. Для него в случае, когда значения индикационного показателя ОЯП ограничены слева нулем, функция распределения описывается формулой

$$P(x > f) = 1 - \exp\{-\exp[-(f - f_{\text{mod}})/\Phi]\}, \quad (8.11)$$

а плотность распределения описывается формулой

$$p(f) = \exp\{-[\exp(-(f - f_{\text{mod}})/\phi) + (f - f_{\text{mod}})/\phi)]\}. \quad (8.12)$$

В этих формулах f_{mod} – модальное значение f , а ϕ – масштабная постоянная, регулирующая ширину получающегося распределения.

В качестве примера на рис. 6 приведены результаты расчета плотностей распределения вероятностей торнадо по силе воздействия в баллах. Рисунок показывает, что в данном случае и гамма-распределение и распределение Гамбела дают почти одинаковый результат. Нормальное распределение вероятностей может при расчетах привести к отрицательным значениям.

Асимметричные распределения создают определенные трудности при практическом оценивании их параметров на основе коротких рядов наблюдений. Однако они легко преодолимы при использовании современных средств компьютерной обработки информации. Подбор параметров в этих функциях в настоящее время легко осуществляется даже в общедоступном пакете прикладных программ EXCEL.

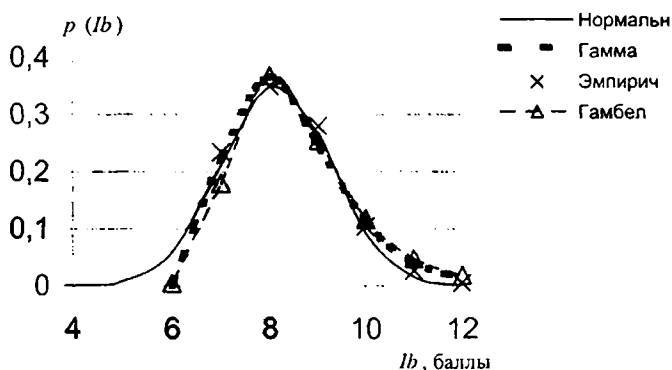


Рис. 6. Примеры использования различных законов распределения вероятностей для аппроксимации повторяемости торнадо разной разрушительной силы

Это позволяет надеяться на внедрение в повседневную практику исследовательской работы специалистов по анализу ОЯП новых, более гибких и универсальных статистических методов и перейти к широкому использованию H -распределения.

8.2. Аппарат условных вероятностей

Одной из задач геофизической дизастологии, как показано выше, является определение будущих значений индикационных показателей (ИП) и прогнозирование значений критериев безопасности (КС, КБ, КЭ) для разных стихийных явлений (см. рис. 4). Трудно рассчитывать, что удастся разработать детерминистические методы прогноза таких редких явлений, так как переход ИП через значение кб может означать и конец эволюционного цикла прогнозируемого явления. Более реально использовать теоретико-вероятностный подход. При этом значения безусловных вероятностей событий, законы распределения которых кратко рассмотрены выше, оказываются такими малыми, что реальной возможности их предсказать, вероятно, нет.

Тогда следует считать, что факт превышения индикационным показателем катастрофы (ИП) некоторого порогового значения (КБ) является прогнозируемым признаком Φ_i перехода системы в опасный режим. Причем этот признак можно предвидеть, только обнаружив другие события, сопутствующие прогнозируемому. Возникнет необходимость анализировать вероятности осуществления нескольких событий одновременно, а также привлекать условные вероятности.

В случае, когда $n = 2$ несовместных и единственно возможных фаз состояния ИП, Φ_i , априорные (или климатические) вероятности которых обозначим $P(\Phi_i)$. Следует помнить, что одно из них редкое, т.е. $P(\Phi_1) \ll P(\Phi_2)$. Эти вероятности связаны соотношением

$$\sum_{i=1}^{i=n} P(\Phi_i) = 1. \quad (8.13)$$

Допустим, что к моменту составления прогноза мы располагаем сведениями об осуществлении (или неосуществлении) N прогностических признаков S_k ожидаемого состояния ИП. Априорные вероятности этих признаков $P(S_k)$ ($k = 1, N$) тоже могут быть оценены на архивном материале. Для них условие (8.13) не обязательно выполняется.

Из формулы для вероятности совмещения событий Φ_i и S_k имеем

$$P(\Phi_i S_k) = P(\Phi_i / S_k) P(S_k) = P(S_k / \Phi_i) P(\Phi_i) < P(\Phi_i), \quad (8.14)$$

где $P(\Phi_i S_k)$ – вероятность одновременного появления факта ОЯП и признака ОЯП; $P(S_k / \Phi_i)$ и $P(\Phi_i / S_k)$ – условные вероятности выполнения Φ_i (факта ОЯП) при S_k (наличие признака ОЯП) и, наоборот, наличия S_k при выполнении Φ_i . Полезно ввести обозначение λ для симметричного показателя связи между этими событиями – коэффициента совместимости – по формуле:

$$\lambda = P(\Phi_i / S_k) / P(\Phi_i) = P(S_k / \Phi_i) / P(S_k). \quad (8.15)$$

Коэффициент совместимости показывает, во сколько раз увеличивается вероятность одного события при появлении другого. То, что она увеличивается, – обязательно, так как для редких событий и $P(\Phi_i)$ и $P(S_k)$ много меньше единицы, но предположение о том, что S_k является признаком Φ_i грешит, чтобы было близко к единице $P(\Phi_i / S_k)$, откуда и следует свойство $\lambda > 1$. Независимость между событиями возможна только при $\lambda = 1$, при $\lambda > 1$ связь считается положительной, при $\lambda < 1$ – отрицательной.

Формула (8.15), с одной стороны, показывает, что при прогнозе редких событий, когда $P(\Phi_i) \ll 1$, если даже один какой-либо признак S_k является очень надежным $P(\Phi_i / S_k) \approx 1$, это не гарантирует надежность прогноза вследствие недостатка данных для статистически надежного расчета $P(\Phi_i)$. С другой стороны, из (8.15) следует, что при $P(\Phi_i) \ll 1$ и $P(S_k) \ll 1$, т.е. признак должен наблюдаться не чаще, чем само явление. Следовательно, для редко наблюдаемых ОЯП очень трудно выявить по наблюдениям один хороший признак.

Выходом из положения является использование комплексов признаков. В формулах ничего не изменится, если в качестве признака S_k понимать сложное событие, состоящее в осуществлении комплекса признаков $D(S_1, S_2, \dots, S_k, \dots)$. Для получения всех условных вероятностей необходим предварительный перебор всех логических возможностей комбинаций признаков, что совершенно нереально.

Если число рассматриваемых фаз состояния ИП (n) и число признаков (N) невелики, то можно попытаться перебрать все логические возможности сочетаний присутствия и отсутствия различных признаков и оценить для каждой такой возможности условные

вероятности фаз состояния ИП. Это можно сделать, например, пространственным при анализе опасностей методом карт Карно [1].

Однако с ростом числа признаков число логических возможностей растет очень быстро, так что уже при $N = 4$ теряется наглядность результата, а при $N = 10$ перебор их будет затруднителен даже при современном уровне вычислительной техники. Но самое главное, что для редких событий всегда незначителен объем архива. Это принципиально не позволит оценить соответствующие условные вероятности со сколько-нибудь подходящей точностью. Поэтому эти вероятности не стоит пытаться оценивать заранее. Нужно их вычислять по мере необходимости, исходя из каких-то допущений [15]. Это направление исследований называется моделированием условных вероятностей.

На практике можно и рекомендуется рассматривать только независимые признаки. Если все признаки, входящие в D ($S_1, S_2, \dots, S_k, \dots$), взаимно независимы, то

$$P(D) = P(S_1)P(S_2) \dots P(S_k). \quad (8.16)$$

Можно допустить, что

$$P(D/\Phi_i) = P(S_1/\Phi_i)P(S_2/\Phi_i) \dots P(S_k/\Phi_i). \quad (8.17)$$

Откуда по аналогии с формулой (8.14) получим

$$P(\Phi_i/D) = \frac{P(S_1/\Phi_i)P(S_2/\Phi_i) \dots P(S_k/\Phi_i)}{P(S_1)P(S_2) \dots P(S_k)} P(\Phi_i). \quad (8.18)$$

Эта формула показывает, что если бы удалось выбрать не один, а несколько признаков редкого явления, которые сами по себе не были такими редкими, чтобы их нельзя было оценить по имеющимся архивам, но обязательно сопутствовали бы редкому явлению ($\min\{P(S_k/\Phi_i)\} \approx 1$), то такой комплекс признаков позволил бы получить почти достоверную оценку риска редкого опасного явления ($\min\{P(\Phi_i/D)\} \approx 1$). При этом необходимое количество признаков совсем невелико. Например, если опасное явление природы наблюдается один раз в сто лет [$P(\Phi_i) = 0,01$], то достаточно иметь либо два признака, которые наблюдаются один раз в десять лет, либо три признака, которые наблюдаются один раз в четыре года. Если эти наборы достоверно имеют место во время изучаемой катастрофы,

то точность оценки условной вероятности по формуле (8.18) будет на уровне $\min\{P(S_k/\Phi_i)\}$.

Таким образом, обнаружение комплекса признаков, которые сопровождают опасное природное явление и для которых можно подсчитать вероятности наступления всех прогнозируемых фаз $P(\Phi_i/D)$ по имеющимся архивам, является основной задачей построения методов прогноза рисков возникновения ОЯП.

К сожалению, выявление признаков и подбор подходящего архива требуют очень трудоемкого и аккуратного экспертного анализа большого объема данных. Видимо, поэтому примеров разработки методов прогноза ОЯП, основанных на описанном выше подходе, еще не много. Представляется, что очень полезным для детального изучения является вероятностный синоптико-статистический метод прогноза значительных снегопадов, разработанный для Новосибирской и Томской областей *.

В этой работе рассмотрен вопрос о расчете условной вероятности $P(R/S_1, S_2)$ редкого события R , состоящего в том, что за 12 ч выпадет более 3 мм снега, при условиях одновременного выполнения двух независимых сложных признаков: индекса интенсивности циклона и района его расположения (S_1) и индекса типа фронта и суммы дефицитов влажности в слое 1500–3000 м (S_2). Рабочая формула для оценки условной вероятности имеет вид

$$P(\Phi_i/S_1, S_2) = \lambda_1 \lambda_2 P(\Phi_i); \lambda_1 = P(S_1/\Phi_i)/P(S_1); \lambda_2 = P(S_2/\Phi_i)/P(S_2). \quad (8.19)$$

Вероятность прогнозируемого явления достаточно мала [$P(\Phi_i) \cong 0,07$]. Значение коэффициента совместимости λ_1 зависит от сезона и изменяется от 0 до 10,8, а значение коэффициента усиления λ_2 зависит от синоптической ситуации и меняется от 0 до 16,7. Интересно, что при таких коэффициентах усиления возможно получение $P(\Phi_i/S_1, S_2) \gg 1$. Это, по-видимому, связано с погрешностями статистических оценок на малом архиве. Чтобы избавиться от нереальных значений вероятностей, вместо расчета

* Детальное описание процедуры подбора признаков и метода расчета их индексов можно найти в работе Прокопьевой И.П. Вероятностный синоптико-статистический прогноз значительных снегопадов по Новосибирской и Томской области. – Тр. ЗСРНИГМИ. 1978, вып. 39, с. 117–125.

по формуле условной вероятности применяется номограмма с аргументами λ_1 и λ_2 , полученная по результатам проверки метода.

При использовании этого метода отмечено, что решение о возможности сильного снегопада может быть представлено не в вероятностной, а в категорической форме, т.е. в виде альтернативы "будет ОЯП" или "не будет ОЯП". При этом используется следующее правило: если рассчитанная вероятность сильных снегопадов больше безусловной (климатической), то прогнозируется сильный снегопад. Таким образом, безусловная вероятность ОЯП рассматривается как пороговое значение при альтернативном прогнозе.

Использование метода условных вероятностей для прогноза редких и опасных явлений природы, несомненно, – перспективное направление прогностики. На этом пути имеется немало достижений, а большинство препятствий обусловлено недостатком данных наблюдений. С течением времени этот недостаток потеряет свою остроту и это вселяет надежду на возможность создания методов комплексного прогнозирования природных катастроф.

8.3. Применение биномиального распределения в задаче оценки прогноза даты землетрясения

Кроме задач прогнозирования, вероятностные методы с большой пользой применяются при оценке прогнозов ОЯП. Понятно, что важность задачи прогноза порождает большое количество различных предложений методик прогнозирования отдельных ОЯП, среди которых немало и спекулятивных. Поэтому важно иметь способ, позволяющий сделать заключение о том, является ли некоторый метод действительно имеющим систематическую прогностическую ценность или просто сравнительно малое число случаев прогноза позволило сделать ошибочный вывод о методической ценности на основе случайных совпадений. Для того чтобы получить представление о возможностях вероятностного подхода к проверке надежности прогноза редких событий, рассмотрим способ, предложенный В.П. Трипольниковым [16].

Проверяемый метод был предложен для оценки методической обоснованности методики А.Д. Сытинского прогнозирования дат землетрясений с магнитудой не меньше 6 по метеорологическим данным. При постановке задачи важно, что ошибка на один-два дня в ту или другую сторону при долгосрочном прогнозе ОЯП не может

считаться существенной. Таким образом, даже методически достоверный прогноз дает разброс погрешностей. У случайного прогноза этот разброс должен обладать худшими вероятностными свойствами. Выявление этих свойств и было положено в основу метода в рассматриваемой работе.

За абсолютную ошибку прогноза S принята разность времени факта землетрясения и середины интервала времени, который был предсказан как момент землетрясения. Эта разность бралась по модулю и с округлением до целых суток по принципу $S = 0$, если $0 \leq |\Delta t| < 1$, и $S = 1$, если $1 \leq |\Delta t| < 2$, и т.д. Поскольку общее число поданных прогнозов не совпадало с числом землетрясений в выборке из N дней, то проводилась как оценка разностей дат между землетрясением и прогнозом, когда было землетрясение (обратная оценка), так и оценка только случаев, когда был прогноз (прямая оценка). Для прогнозов, которые составлялись с месячной заблаговременностью (прогноз подавался в текущем месяце на весь следующий) в табл. 9 приведено число случаев появления разностей S разной величины.

Распределение ошибок при случайном угадывании дат землетрясений можно получить путем следующих рассуждений. Если землетрясения и прогнозы независимы, то вероятность появления землетрясения в какую-нибудь дату можно оценить как $P_n = n/N$ (n землетрясений) и $P_m = m/N$ (m прогнозов). Вероятность непоявления этих событий оценивается как $Q_n = 1 - P_n$ или $Q_m = 1 - P_m$. Вероятность опоздания прогноза по отношению к факту землетрясения на x дней можно оценить как $Q_n^x P_n$. Для другого ряда вероятность опоздания будет представлять собой опережение прогноза по отношению к землетрясению на y дней, и его можно оценить как $Q_m^y P_m$.

Таблица 9

Число случаев появления ошибок разной величины Q_s

Разность	0	1	2	3	4	5	6	7	Всего событий в выборке	N	P
Прямая оценка	27	20	6	1	2	4	0	0	$m = 60$ (прогнозов)	277	$P_m = 0,216$
Обратная оценка	31	30	11	2	1	0	1	1	$n = 77$ (землетрясений)	277	$P_n = 0,277$

Вероятность случая, когда в одном ряду имеет место опережение, а в другом запаздывание, можно оценить как вероятность совместного появления независимых событий в виде $Q_m^y Q_n^x P_n P_m$. Разность $S = x - y$ представляет собой ошибку прогноза даты. Вероятность P , появления ошибки S между какой-либо парой соседних событий в двух независимых рядах

$$\begin{aligned} P_s &= 1/2 (Q_m^y Q_n^x + Q_m^x Q_n^y) P_n P_m = \\ &= 1/2 (Q_m^y Q_n^{s+y} + Q_m^{s+y} Q_n^y) P_n P_m. \end{aligned} \quad (8.20)$$

Если оба ряда бесконечны, что соответствует условиям идеального эксперимента, то вероятность хотя бы одного случая появления ошибки S , если $x > y$, равна

$$\begin{aligned} P_{s, x > y} &= 1/2 P_n P_m \sum_{y=0}^{y=\infty} (Q_m^y Q_n^{s+y} + Q_m^{s+y} Q_n^y) = \\ &= 1/2 P_n P_m (Q_m^s + Q_n^s) / (1 - Q_m^s Q_n^s). \end{aligned} \quad (8.21)$$

Аналогичную оценку можно получить и для случая, когда $y > x$

$$\begin{aligned} P_{s, y > x} &= 1/2 P_n P_m \sum_{x=0}^{x=\infty} (Q_m^x Q_n^{s+x} + Q_m^{s+x} Q_n^x) = \\ &= 1/2 P_n P_m (Q_m^s + Q_n^s) / (1 - Q_m^s Q_n^s). \end{aligned} \quad (8.22)$$

Вероятность того, что возникнет одно из двух этих событий, т.е. вероятность событий $|S| = 0, 1, 2, 3, \dots$, может быть вычислена по формуле

$$P_{|s|} = P_{s=0} (Q_m^{|s|} + Q_n^{|s|}); P_{s=0} = P_n P_m / (1 - Q_m Q_n), |s| = 1, 2, 3, \dots \quad (8.23)$$

В табл. 10 приведены вероятности ошибок случайных прогнозов, рассчитанные по этим формулам, и частоты событий, ожидаемые при случайном прогнозе. Последние получены путем умножения вероятностей на число событий (на число случаев прогнозов или землетрясений).

Таблица 10

Вероятности ошибок случайных прогнозов и частоты при случайном прогнозе

Вероятность ошибок случайных прогнозов	0,14	0,21	0,26	0,27	0,28	0,28	0,28	0,28
Частоты ошибок при прямом эксперименте	8,29	12,5	15,6	16,3	16,5	16,6	16,6	16,6
Частоты ошибок при обратном эксперименте	10,6	16	20	20,9	21,2	21,2	21,3	21,3

Если применить критерий Пирсона для оценки вероятности случайных расхождений между соответственными строками частот в табл. 9 и 10, то получим значения критериев Пирсона χ^2 по формуле

$$\chi^2 = \sum_{s=0}^{s=8} (O_s^2 - E_s^2) / E_s^2.$$

В этой формуле O_s – наблюдавшиеся частоты (табл. 9), E_s – ожидаемые частоты (табл. 10). Значение для прямого оценивания составляет 122, для обратного – 151. При числе степеней свободы, равном 7 (сравниваются 8 чисел с заданной суммой), получить такие значения случайно можно с вероятностью, намного меньше 0,0001. Таким образом, расхождение не может быть случайным, а значит, ошибки в прогнозе даты землетрясения при случайном прогнозе очень сильно отличаются от ошибок при методическом прогнозе. То есть рассматриваемый методический прогноз не может быть успешным по случайным обстоятельствам.

9. РОЛЬ РИСКА ПРИ АНАЛИЗЕ ОПАСНЫХ ЯВЛЕНИЙ ПРИРОДЫ

9.1. Факторы восприятия в проблеме риска

Даже интуитивно понятно, что возникновение опасного явления природы и тем более катастрофы, порожденной им, является достаточно редким событием в жизни отдельных людей и социальных групп людей на некоторой территории. Поэтому при расчете индекса потенциальных потерь за счет природных катастроф естественно требуется дополнить состав параметров путем учета вероятности наступления опасного события. Как уже указано ранее, в естественных и технических науках вероятность реализации негативного воздействия в рассматриваемой зоне называют риском. Однако этот термин вызывает у людей столько ассоциаций, что очень трудно различать субъективно воспринимаемый и объективно измеримый риск.

Возможность субъективного восприятия важности ролей различных причин катастроф требует перечисления всех факторов риска и выделения тех, которые могут быть отнесены к геофизической дизастологии. Согласно фундаментальной работе Григорьева и Кондратьева [3], важнейшими факторами риска природных катастроф являются: возможность существования опасного явления природы; природный фон развития ОЯП (географические особенности региона); социальный фон развития ОЯП (этнические, исторические и политические особенности региона); уязвимость населения, определяемая уровнем экономического развития; субъективное восприятие населением угрозы возникновения ОЯП.

Понятно, что кроме первых двух, все остальные факторы риска не являются предметом геофизической дизастологии. Ниже с помощью примеров дана лишь их краткая общая характеристика. Влияние географических особенностей региона сказывается как на составе катастроф в регионе, так и на характере их протекания. Скажем, смерчи редки в Европе, но часто возникают на территории США. Паводковые наводнения характеризуются разной длительностью в горных и равнинных районах. Однако географические аспекты анализа природных катастроф достаточно полно описаны в учебной и научной литературе по отдельным геофизическим дисциплинам и в этой книге не рассматриваются.

Этнические, исторические и политические различия определяют разное приспособление населения к засухе в России, США, странах Африки, Индии. Разный уровень экономического развития приводит к резким различиям в количестве жертв от катастрофических наводнений в Бангладеш и США. Бросается в глаза различие степени уязвимости населения в случае наводнения в таких близких по экономическому уровню странах, как США и Нидерланды. Это показывает, что социальный и экономический аспекты анализа катастроф очень серьезны, но, конечно, они не являются предметом геофизических исследований.

Особый интерес представляет проблема субъективного восприятия населением угрозы ОЯП. В широко известном сборнике работ [17] было показано, что отдельные граждане и крупные фирмы не придерживаются в своем отношении к природным катастрофам хорошо изученной модели принятия статистических решений. Ограниченность ресурсов, которыми располагает отдельный собственник, приводит к тому, что он не может создать замкнутое множество стратегий реагирования на беду. Когда ресурсы кончаются, ему приходится менять правила принятия решения, вводя новые допущения. Этот вопрос принципиально важен для организации работы государственных спасательных служб, но не может быть решен с точки зрения геофизической диастологии.

Геофизическая диастология ориентируется на описание природных катастроф в интересах оптимизации планирования реакции общества на ожидаемые потери. Поэтому при оценке риска возникновения природных катастроф и стихийных бедствий далее будет применена модель идеального потребителя, который реагирует на вероятность катастрофы так, как предусмотрено классическим вариантом теории статистических решений. Для ознакомления с основами теории можно рекомендовать любой доступный учебник по исследованию операций (для изучения вопросов применения этих идей в метеорологии можно рекомендовать работу [18]).

9.2. Учет риска в расчетах потерь

При исследовании природных катастроф возникает необходимость вероятностного описания, потому что обычный хозяйственный анализ их последствий производится путем обобщения данных за отдельные календарные периоды (месяц, квартал, полугодие, год

и т.д.). Для того чтобы отразить дискретность экономического эффекта катастроф во времени, функции F_i , характеризующие такой эффект за время отдельной катастрофы, имевшей место в день за номером i , следует представить в виде произведения двух случайных функций, а именно:

$$F_i = \beta_i f_i, \quad (9.1)$$

где f_i – функция, выбранная в качестве показателя потерь; β_i – функция регистрации катастрофы, равная единице во время катастрофы и нулю вне этого времени.

Обе эти функции являются случайными, но зависят от разных аргументов. Функция f_i зависит от характера и параметров катастрофы (вида, площади, продолжительности, разрушительной силы), а функция β_i – только от показателя времени i . Таким образом, можно допустить, что они оказываются независимыми случайными функциями. Обозначим математическое ожидание и среднее квадратичное отклонение этих функций через m_f , s_f и соответственно через m_β , s_β . Понятно, что в общем случае m_β , s_β будут зависеть от времени, но для выявления формы этих зависимостей в настоящее время не достаточно данных. Поэтому можно произвести предварительный анализ, предполагая, что они относятся к какому-то одному календарному периоду и постоянны.

Функция F , определенная формулой (9.1), при этих условиях является произведением независимых случайных функций. Согласно теоремам теории вероятностей, математическое ожидание m_F и среднее квадратичное отклонение s_F определяются равенствами

$$m_F = m_f m_\beta; s_F = s_f s_\beta. \quad (9.2)$$

В теории ошибок измерений показано, что для широкого класса симметричных функций распределения вероятностей величины $m_x \pm 1,6s_x$ являются границами 90% доверительного интервала оценки значения случайной величины x . Это означает, что, правильно выбрав характеристику потерь F_i от природных катастроф, можно оценить ее значение в заданном районе и для заданного календарного периода с обеспеченностью 10% по формуле

$$m_f m_\beta - 1,6s_f s_\beta < F_i < m_f m_\beta + 1,6s_f s_\beta. \quad (9.3)$$

Оценки входящих в эту формулу величин можно конкретизировать, только рассмотрев вопрос о возможных законах распределения вероятностей функций f_i и β_i .

9.3. Учет вероятностных характеристик ОЯП в индексе приведенных потерь

Математическое ожидание m_β случайной функции β_i за выбранный календарный период является вероятностью катастроф за этот период, т.е. риском. Формула (9.2) показывает, что информация о значении риска совершенно необходима для определения потерь от катастроф и стихийных бедствий.

Удобно использовать в качестве f_i показатель приведенных потерь IS_i . Он является суммой нескольких случайных величин, по определению может быть разным по знаку и при правильном подборе единицы измерения потерь может иметь вполне симметричное распределение вероятностей значений по потерям, что дает возможность характеризовать погрешность оценки параметров с помощью формулы (9.3). Предположив, что в распоряжении исследователя имеются данные об n катастрофах, можно по ним получить среднее арифметическое значение индекса потенциальных потерь IS в условиях катастроф, проводя суммирование в формулах (4.3)–(4.5). От среднего арифметического легко перейти к несмещенной оценке математического ожидания этого индекса m_{is} по формуле

$$m_{is} = 1/(n+1) \sum IS_i = n/(n+1) [IS_0 + 1/n \sum \lg(S/S_0) + 1/n \sum \lg(\tau/\tau_0) + 0,24(1/n Jb - 5,9)] = m_{IS0} + n/(n+1) \lg(\check{S}/S_0) + n/(n+1) \lg(\check{T}/\tau_0) + 0,24(m_{Jb} - 5,9). \quad (9.4)$$

Обозначения $\check{S} = (\prod S_i)^{1/n}$, $\check{T} = (\prod \tau_i)^{1/n}$ служат для идентификации средних геометрических значений площади, охваченной катастрофами, и их продолжительности. Суммирование (знак Σ) и умножение (знак $\prod$) ведется по всем n катастрофам.

Интересна структура правой части формулы математического ожидания потерь от катастроф m_{is} . Первое слагаемое в ней (m_{IS0}) не зависит от характеристик катастроф и определяется только особенностями района. Его можно назвать географическим индексом. Остальные слагаемые зависят от свойств самих катастроф (площади, продолжительности, баллы разрушительной силы). Их можно называть геофизическими индексами. Именно геофизический индекс

является величиной, которую следует прогнозировать на основе специальных методик, разных для различных видов катастроф. В этом легко убедиться, если, пренебрегая близким к единице множителем $n/(n + 1)$, найти разность δ/S между возможным значением S индекса приведенных потерь для конкретной катастрофы и средним значением m_{is} . Эта разность может быть вычислена по формуле

$$\delta/S = \lg(S/\bar{S}) + \lg(\tau/\bar{T}) + 0,24 (Jb - m_{jb}). \quad (9.5)$$

Из нее следует, что значимость ожидаемой катастрофы определяется тем, во сколько раз она обширней по площади и продолжительнее по длительности, чем средние геометрические соответствующих величин. Понятно также, что увеличение площади катастрофы или ее длительности в два раза приводит к изменению индекса приведенных потерь примерно на 0,3. К такому же изменению индекса приводит рост на 1,25 балла разрушительной силы. В силу определения индекса приведенных потерь, такое увеличение ведет к удвоению значения приведенных потерь S .

9.4. Применение риска для анализа стратегий управления

Информация о вероятности возникновения опасной ситуации является важнейшей составляющей для управления риском. Это направление менеджмента сформировалось за последние 20–30 лет и представляет собой процесс идентификации опасности и ее оценки, а также отбора и реализации совокупности действий, направленных на снижение риска причинения вреда здоровью человека и состоянию окружающей среды. Как указано в работе [19], управление риском в последние годы производится по схеме Комиссии по оценке и управлению рисками Конгресса США. Эта схема включает шесть последовательных шагов:

1. Выявление проблемы и ее рассмотрение в контексте конкретной ситуации.
2. Анализ риска, связанного с существованием данной проблемы.
3. Тщательное изучение возможных подходов к решению проблемы и снижению степени существующей опасности.
4. Принятие решения о реализации той или иной альтернативы.
5. Реализация принятого решения.
6. Оценка полученных результатов.

Информация о вероятности возникновения природной катастрофы (стихийного бедствия) и об ее возможных масштабах является целью геофизической диастологии. Эта информация должна быть основой для работы риск-менеджеров на всех этапах управления риском. Однако ниже внимание будет уделено обеспечению четвертого шага – выбору возможных альтернатив.

Оценку математического ожидания величины потерь от катастроф m_{IS} за выбранный календарный период можно получить на основании [18]:

$$m_{IS} = m_{\beta} m_{is} = [1 - (1 - \mu/N)^N] [m_{IS0} + n/(n+1) \lg(\check{S}/S_0) + n/(n+1) \lg(\check{T}/\tau_0) + 0,24(m_{\beta} - 5,9)]. \quad (9.6)$$

Первый множитель в правой части этой формулы представляет собой риск катастроф за рассматриваемый календарный период. Как уже указано, это очень маленькая величина. Поэтому даже при больших потерях от одиночных катастроф средние по календарному промежутку времени потери от катастроф пропорциональны их вероятности и могут быть заметными только тогда, когда величина в $1/m_{\beta}$ раз превосходит средние значения. Это возможно, если для такой катастрофы индекс приведенных потерь IS будет на величину $-\lg m_{\beta}$ больше среднего. Если принять, что $m_{\beta} = 0,01$ (например, одна катастрофа за 100 лет), то для выполнения этого условия значение δIS должно достичь двух. В табл. 11 приведены такие сочетания параметров катастрофы, которые способствуют этому, т.е. приводят к тому, что даже одна катастрофа такого масштаба за 100 лет должна рассматриваться как важное геофизическое событие.

Таблица 11

Необходимые сочетания значений для того, чтобы индекс катастроф увеличился в 2 раза

Варьируемые величины	Необходимые изменения		
	балл	длительность	площадь
Исходные значения			
площадь 4,7	5,5	3,6	2,0
длительность 4,7	5	2	3,6
балл 1,0	5,5	8,9	10,7

Если в рассматриваемом регионе происходит множество однородных по потерям катастроф, то для выяснения границ, при выхо-

де за которые средние потери оказываются геофизически значимыми, следует принять во внимание экономический потенциал района. Его можно охарактеризовать величиной допустимой погрешности при расчете бюджета этого региона. Обозначив величину бюджета через BV и учитывая, что при сравнении бюджетов публикуют относительные данные с точностью до десятых долей процента, можно из формулы (9.6) получить верхнюю границу m_{ISm} значения незначительных средних потерь при катастрофах – m_{is} :

$$m_{ISm} = \lg \left(\frac{0,001}{m_{\beta}} \right) BV > m_{is}. \quad (9.7)$$

При пользовании этой формулой очень важно обращать внимание на размерности множителей. Величина бюджета относится обычно к году и поэтому имеет размерность млн.дол./год. Значение погрешности (0,001) безразмерно. Это значит, что риск m_{β} должен иметь размерность (1/год). Например, по формуле (9.7) допустимые потери при катастрофах, происходящих не чаще одного раза в пять лет ($m_{\beta} = 1/5$), не превышают 0,5% величины BV годового бюджета региона. А для катастроф, возможных раз в сто лет, допустимы и потери 10% величины годового бюджета региона.

Если возможные потери превышают величины погрешности расчетов бюджета, то для принятия решения о целесообразности проведения защитных мероприятий можно воспользоваться методами теории игр и статистических решений. Поскольку возможно только два исхода (катастрофа произойдет или нет); для анализа ситуации полезны результаты, полученные для игр двух партнеров и подробно изученные в работе [18].

Для получения результатов менеджер должен располагать результатами предварительного анализа ситуации, представленными в виде двух матриц. Одна из них – матрица потерь от катастрофы S , а другая – матрица P условных вероятностей различных сочетаний прогноза катастрофы и факта катастрофы. Они показаны в табл. 12. В нее введены и вспомогательные обозначения, чтобы удобно было пользоваться выкладками, проделанными в работе [18].

Таблица 12

Общий вид матриц потерь и матрицы условных вероятностей
возможных сочетаний ожидания и осуществления катастрофы

Фактический исход	Матрица потерь. Решения о защитных мерах		Матрица условных потерь. Потери при разных прогнозах		Матрица риска согласно прогнозу катастрофы		Климатический риск	Наименование возможных сочетаний ожидания и осуществления катастрофы		
	Принимать (D1)	Не принимать (D2)	$R(\Pi_1, \Phi_i)$	$R(\Pi_2, \Phi_i)$	Ожидалось (П)	Не ожидалось (П2)		Ожидалось (П)	Не ожидалось (П2)	Климатическая
Была (Φ_1)	s_{11}	s_{12}	$R_{11} = p_{11}s_{11} + p_{21}s_{21}$	$R_{21} = p_{11}s_{12} + p_{21}s_{22}$	p_{11}	p_{12}	$p_{10} = p_{11} + p_{12}$	Оправдался прогноз катастрофы (P_{11})	Пропуск цели ($P_{12} = P_{\text{нл}}$)	Вероятность катастрофы ($P_{10} = P_{\text{кл}}$)
Не было (Φ_2)	s_{21}	s_{22}	$R_{12} = p_{12}s_{11} + p_{22}s_{21}$	$R_{22} = p_{12}s_{12} + p_{22}s_{22}$	p_{21}	p_{22}	$p_{20} = p_{21} + p_{22}$	Ложная тревога ($P_{21} = P_{\text{л}}$)	Оправдался прогноз отсутствия катастрофы (P_{22})	Вероятность отсутствия катастрофы ($P_{20} = 1 - P_{\text{кл}}$)
Итого	$R_{\text{кл}1} = p_{10}s_{11} + p_{20}s_{21}$	$R_{\text{кл}2} = p_{10}s_{12} + p_{20}s_{22}$	$\min\{R(\Pi_1, \Phi_i), R(\Pi_2, \Phi_i)\} = R_{22}$ при $p_{11} > p_{12}$		$P_{01} = p_{11} + p_{21}$	$P_{02} = p_{12} + p_{22}$	1	Вероятность прогноза катастрофы ($P_{01} = P_{\text{ф}}$)	Вероятность прогноза отсутствия катастрофы ($1 - P_{02} = 1 - P_{\text{ф}}$)	Полная группа событий

Самые простые оценки можно получить, сравнив две стратегии, основанные на использовании статистических данных о вероятностях катастроф. В таблице потери при применении этих стратегий обозначены как $R_{\text{кл}1}$ и $R_{\text{кл}2}$: $R_{\text{кл}1}$ – потери при постоянном использовании защитных мероприятий, $R_{\text{кл}2}$ – потери при игнорировании катастрофы, т.е. при полном пренебрежении защитой. Легко доказать, пользуясь таблицей, следующие соотношения для сравнения потерь L и затрат z :

$$R_{\text{кл}1}/L = P_{\text{кл}} k + (1 - P_{\text{кл}})(1 - k)Z/L. \quad (9.8)$$

$$R_{\text{кл}2}/L = P_{\text{кл}}. \quad (9.9)$$

$$R_{\text{пр}}/L = (P_{\text{кл}} - P_{11}) + P_{\text{пр}} [(P_{\text{пр}} - P_{\text{кл}}) + P_{11}k]. \quad (9.10)$$

Анализ случая $R_{\text{кл}1} < R_{\text{кл}2}$ показывает, что для эффективного использования стратегии постоянной защиты затраты на нее Z должны удовлетворять неравенству

$$Z < P_{\text{кл}}/(1 - P_{\text{кл}})(1 - k)L. \quad (9.11)$$

Учитывая малость $P_{\text{кл}}$, следует признать, что это очень сильное ограничение. Кривые безразличия для этих стратегий показаны на рис. 7.

Линии Z/L при равенстве потерь в обоих вариантах стратегий, ориентированных на климатические данные

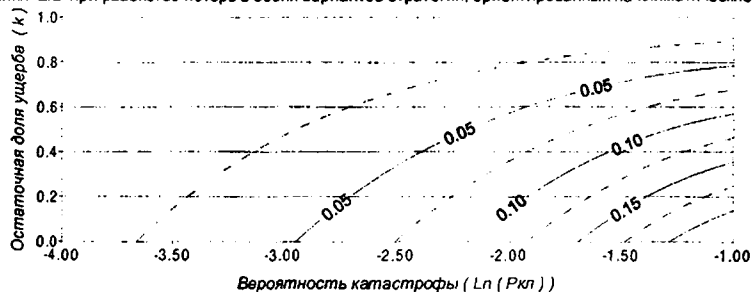


Рис. 7. График полезности оценок риска катастроф на основе климатических данных

Сравнение равенств (9.9) и (9.10) позволяет увидеть, что всегда $R_{\text{пр}} < R_{\text{кл}2}$, т.е. использовать прогноз всегда выгоднее, чем просто закрывать глаза на возможность катастрофы. Сравнение равенств

(9.8) и (9.10) позволяет получить условие, при котором использовать прогноз становится выгоднее даже в тех случаях, когда затраты на защиту малы и можно защищаться всегда. С учетом того, что $P_{11} < P_{кп} < 1$ и вводя обозначения $Y = P_{л1}/P_{11}$, $X = (P_{кп} - P_{11})/P_{11} = P_{н1}/P_{11}$, это неравенство можно привести к виду

$$0 < Y < (1 - k + X)/2 + [(1 - k + X)^2/4 + 1]^{1/2} - 1. \quad (9.12)$$

Полученное неравенство представляет собой требование к свойствам метода прогноза. Оно показывает, что прогноз будет пригодным для использования, только, если вероятность ложных тревог будет связана с вероятностью пропуска цели и вероятностью прогноза катастрофы условием, зависящим от коэффициента неэффективности защиты. Важно, что оно может быть выполнено только если и X , и Y меньше единицы, т.е. число ложных тревог и число пропусков цели обязательно должны быть меньше числа правильных прогнозов катастрофы. Для редких явлений это серьезное требование к методике прогнозирования.

На рис. 8 приведены предельные значения $Y(X, k)$, при которых неравенства (9.12) обращаются в равенства. Пользоваться им просто. Чтобы найти, какую долю от общего количества данных прогнозов катастроф могут составлять ложные тревоги, следует: а) задать остаточную долю ущерба k , который не предотвращается даже при применении защитных мероприятий (например, $k = 0,3$), б) задать, какую долю от правильных прогнозов составляют пропуски цели (например, $X = 0,5$). Тогда, согласно (9.12), ложные тревоги могут составлять не более 60% от общего количества данных прогнозов.

Для метеорологической практики удобнее продемонстрировать вид матрицы сопряженности с учетом ограничения (9.12). Она приведена в табл. 13. Для того чтобы сделать анализ этой таблицы более привычным для метеорологов, следует ввести вместо величины X , представляющей собой отношение вероятности пропуска цели к вероятности точного прогноза катастрофы, оправдываемость прогноза $h = P_{11}/P_{кп}$. Эти величины связаны соотношением $X = (1 - h)/h$.

Рассмотрим следующий пример. В среднем за год (365 дней) происходит 10 катастроф ($p_{кп} = 0,027$). Любая из них может нанести ущерб L , равный 1 000 000 дол. Затраты на возможные защитные мероприятия составляют 5% от ущерба ($Z/L = 0,05$). В случае своевременного принятия защитных мер, ущерб от катастрофы

составит 30% от возможного ($k = 0,3$). Менеджер может использовать результаты прогноза факта катастрофы, имеющего оправдываемость 75% ($h = 0,75$, $X = 0,33$). Это значит, что вероятность пропуска катастрофы составляет 25% от значения $p_{кл}$. При таких k и X вероятность ложных тревог по формуле (9.12) не должна превышать 64% от вероятности точного прогноза.

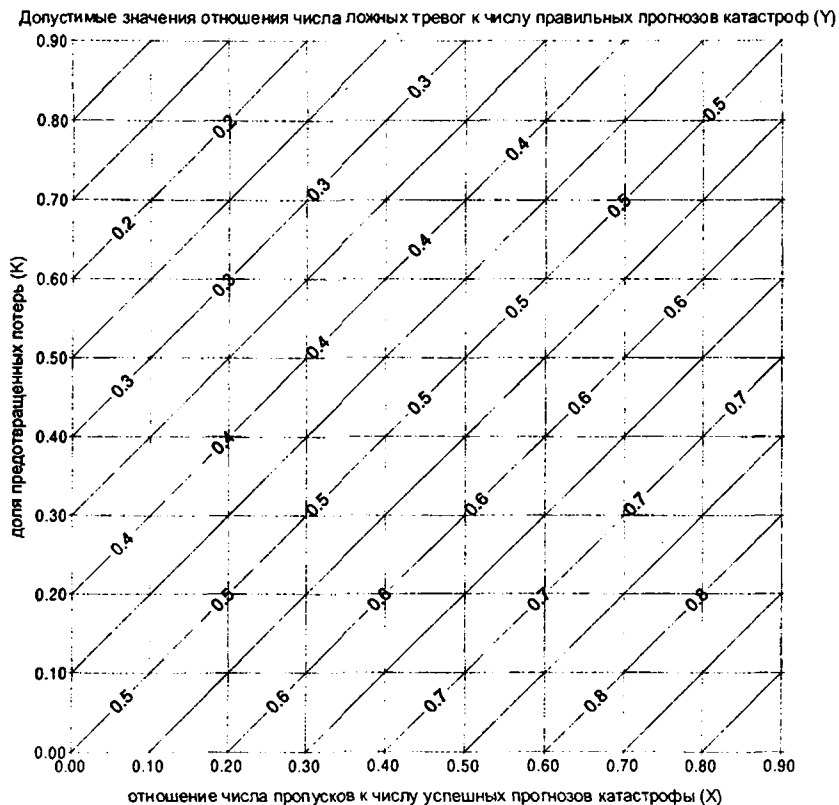


Рис. 8. График для расчета предельно допустимого числа ложных тревог в общем количестве прогнозов катастроф

Анализ ситуации следует начать с выяснения потерь при учете только статистики катастроф. Если ежедневно пренебрегать возможностью катастрофы, то по формуле (9.9) за 365 дней можно

понести потери в размере ($R_{кл2}$) 9 855 000 дол. Постоянно применять защитные меры не рекомендуется, так как значение Z для равенства потерь при стратегиях $R_{кл1}$ и $R_{кл2}$ по формуле (9.11) составит 19 400 дол. Если постоянно защищаться, то можно понести потери в размере ($R_{кл1}$) 15 400 000 дол. Пример расчетов, приведенный в табл. 13, показывает, что использование климатических данных в этом случае бесполезно, а использование прогнозов приводит к предотвращению потерь в размере 3 577 040 дол.

Таблица 13

**Результат расчета матриц сопряженности и полных потерь
при ориентации менеджера на рекомендации прогноза**

Характеристика наличия катастрофы (Ф) и действий менеджера (D)	Характеристика фаз прогноза			
	Общее решение		Пример	
	П1 – прогнозируется катастрофа	П2 – не прогнозируется катастрофа	П1 – прогнозируется катастрофа	П2 – не прогнозируется катастрофа
Ф1 – катастрофа была	$hp_{кл}$	$(1 - h)p_{кл}$	0,020 (7,4 дня из 365)	0,007 (2,5 дня из 365)
Ф2 – катастрофы не было	$Yhp_{кл}$	$1 - p_{кл}(1 + Yh)$	0,016 (5,8 дня из 365)	0,957 (349,4 дня из 365)
Вероятность прогноза фазы	$(1 + Y)hp_{кл}$	$1 - (1 + Y)hp_{кл}$	0,036 (13,2 дня из 365)	0,964 (351,9 дня из 365)
D1 – принято решение о защите	$(kL + YZ)hp_{кл}$	$(1 - h)p_{кл}kL + (1 - p_{кл} - hYp_{кл})Z$	6868 дол.	49 881 дол.
D2 – принято решение не защищаться	$hp_{кл}L$	$hp_{кл}YL$	20 250 дол.	15 876 дол.
Минимальные средние потери при использовании прогноза по фазам	$(kL + YZ)hp_{кл}$	$hp_{кл}YL$	6868 дол.	15 876 дол.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Современное состояние общества ясно демонстрирует необходимость научиться жить в условиях постоянного риска возникновения опасных природных явлений. Единственной возможностью является управление с учетом такой опасности. Но, для того чтобы управлять, необходимо изучать природные явления с точки зрения их потенциальной опасности для человечества. Именно в этом, по-видимому, состоит основная цель дизастологии, этого нового направления в комплексе наук о Земле.

В этом учебном пособии автор сделал попытку обрисовать круг вопросов, которые составляют предметную область этой науки. При этом был учтен и опыт чтения лекций, благодаря которому не введены подробные описания отдельных опасных явлений природы. Вместо описаний на лекциях используются учебные телефильмы, снятые отечественными и зарубежными кинодокументалистами. Просмотр такого фильма дает полное представление о характере протекания практически всех опасных явлений природы. Основываясь на опыте и учитывая сравнительно малый объем курса, не включены детали описания прогностических методов, используемых в метеорологии, гидрологии и океанологии. Эти методы достаточно полно рассматриваются в соответствующих курсах по специальностям.

То, что обычно остается за границами специальных курсов, вероятно, и составляет круг вопросов дизастологии.

Во-первых, это разработка метода оценки разрушительной силы разных природных катастроф по данным параметров, характеризующих их интенсивность.

Во-вторых, это систематизация основных географических данных обо всех природных катастрофах. Ведь несмотря на то, что каждая из них находит свое отражение в средствах массовой информации, подобрать сведения о площадях, продолжительностях и интенсивностях катастроф по отдельным регионам и по миру оказывается делом очень трудным.

В-третьих, это подробный анализ тех экстремальных состояний геосфер, которые порождают самые опасные природные явления, и выявление как комплексов их признаков, так и условий их взаимовлияния.

В-четвертых, достаточно полное их статистическое описание. В настоящее время имеются сведения только о статистике отдельных опасных явлений, таких как торнадо, тайфуны, землетрясения.

Наконец, в-пятых, понадобятся специальные исследования для того, чтобы выяснить, как должен выглядеть полезный прогноз опасных природных явлений. Ясно, что вряд ли удастся точно указать место, момент и интенсивность конкретного опасного природного явления. Но ведь даже имеющиеся в настоящее время прогнозы опасных наводнений, по сути дела, не используются населением. Люди просто ждут и надеются на то, что их не тронет стихия. Государства готовят спасателей. Все-таки кажется, что такое положение не очень согласуется с концепцией развития возможностей человечества и что при должном анализе можно выработать стратегию прогнозирования ОЯП и реагирования на них с целью минимизации ожидаемого ущерба. Такие исследования тоже должны быть проведены на основе данных геофизической дизастологии.

Трудности изучения опасных явлений природы усугубляются тем, что как события экстремальные, они возникают все же редко. Поэтому надежные методы прогноза этих явлений можно ожидать только после накопления достаточно длинных рядов их наблюдения. Однако с течением времени нужные данные будут собраны. Поэтому у автора нет сомнений в том, что прогнозирование опасных явлений природы будет осуществляться в нужной для общества форме и с необходимой заблаговременностью.

ПРЕДМЕТНЫЙ УКАЗАТЕЛЬ

А

аргумент векторной оценки потерь 16

Б

базисный период приведения потерь 14
базовые экономико-демографические условия для оценки воздействия ОЯП 28
балл разрушительной силы катастроф 32
безопасность жизнедеятельности 10
биномиальное распределение вероятностей 99

В

важнейший фактор опасности природных катастроф 26
валовый продукт на душу населения в стране 20
вероятностное прогнозирование ОЯП
интенсивность ОЯП 98
редкие события 98
факт возникновения ОЯП 98
вероятность совмещения событий 107
взаимосвязи катастроф 77
виды природных воздействий 44

Г

географическая оболочка 5
географическая составляющая индекса потенциальных потерь 21
геосферы 39
глобальный валовый продукт на душу населения 14
град, как ОЯП 91
грозы, как ОЯП 90

Д

движение песков 74
детерминистический подход к прогнозу катастроф 82
дизастология 3

Е

единая шкала для измерения природных катастроф 14
единица приведенных потерь 16

Ж

жизнь в условиях возможности катастроф 8

З

зажор 64
закон распределения вероятностей Пуассона 99
закон распределения вероятностей редких событий Гамбелла 104
законы распределения вероятностей Пирсона 103
заморозки 60
засуха атмосферная 63
засуха почвенная 63
затор 64
землетрясение 75
значения индекса потенциальных потерь (ISC), свободные от экономико-демографических влияний 28

И

извержение вулкана 77
индекс потенциальных потерь 19
индекс приведенных потерь 16
индикационный показатель $ИП(t)$ 82
интенсивность опасного явления природы 22, 31
интенсивный дрейф льда 67
интуитивные методы прогнозирования 80
инцидент 11

К

карст 71
катастрофа 9
кислотный дождь 53
коэффициент поражения 20
коэффициент совместимости 107
криогенное пучение 71
криогенные склоновые процессы 72
критерий безопасности 83
критерий стабильности 83
критерий экстремальности 83
критические значения гидрометеорологических величин 45
крупный град 54

Л

ливни как ОЯП 89
линейный устойчивый режим 83
логарифмический индекс приведенных потерь IS 16
локальные открытые нелинейные системы 82

М

масштаб разрушений 30
масштабный коэффициент приведения 15
математическое ожидание величины потерь 117
материальные потери человечества при гибели одного человека 14
метеоритный удар 77
моделирование условных вероятностей 108
модель идеального потребителя 115
модуль вектора потерь 15

Н

навалы льда 68
нагонные явления 65
наледь 71
нелинейный режим 82
несчастный случай 11
нештатный режим 11
низкая межень 65

О

обвал 73
обледенение судов 60
объект анализа опасностей 10
озоновая дыра 54
опасное появление льда 68
опасность 11
опасность отрыва льда 68
опасные явления природы 9, 12
оползень 73
осадка и провалы грунта 70
отказ работоспособности системы 11
очень сильный дождь 58
очень сильный снег 59
ОЯП, сгруппированные по разделам наук 52

П

паводок 65
параметр $Atg(M/C)$ 16
параметры состояния системы 49
переувлажнение почвы (подтопление территории, заболачивание) 70
плывуны 75
показатель разрушительной силы 30
половодье 67
поражающие факторы природных воздействий 45
потенциальная опасность природных катастроф в заданном районе 19
приведенные потери 15
природные катастрофы 11
природные ЧП 11
причины сохранения благоприятных для развития ОЯП темпов 51
продолжительность эволюционного цикла объекта прогнозирования 81
продолжительные сильные дожди 61

Р

размер материального ущерба за катастрофу 14
разрушительная сила катастроф 21
раннее появление льда 69
режим функционирования систем 11
режимы развития систем 83
резервуарные модели систем 51
резкие изменения ионосферы (магнитная буря) 76
резкое ухудшение радиационной обстановки 76
риск 13
риск в узком смысле 13
риск в широком смысле 13
роль различных факторов в формировании значения индекса потенциальных потерь 25

С

сель 74
сжатие льда 69
сильная жара 57
сильная метель 61
сильная пыльная буря 62

сильное волнение 76
 сильные гололедно-изморозевое от-
 ложение на проводах 59
 сильный ветер 55
 сильный ливень 56
 сильный мороз 57
 сильный туман 59
 синэргетика 38
 систематизация описания опасных
 явлений природы 37
 систематизация сведений об ОЯП 48
 системный анализ 37
 смерч 56
 смог 54
 список опасных гидрометеорологиче-
 ских явлений 45
 сравнение наиболее известных ОЯП
 по степени опасности 35
 степень потенциальной опасности
 городов 25
 стихийное бедствие 10, 12
 стихийные бедствия 12, 13
 стихийные гидрометеорологические
 явления 45
 суховей 62
 схема формирования локальной пого-
 ды 87
 сход лавины 74

Т

темпы изменения состояния системы
 51
 теория динамических систем 38

теория статистических решений 115
 термодинамика необратимых процес-
 сов 38
 термокарст 72
 техногенные катастрофы 11
 техногенные ЧП 11
 типы природных катастроф 37
 тягун 66

Ф

факторы экологического риска 23
 фон природной катастрофы 23
 формальные методы прогнозирования 81

Ц

цунами 67

Ч

число летальных исходов за катастро-
 фу 14
 чрезвычайная пожароопасность 58
 чрезвычайные происшествия 11
 чрезвычайные ситуации (ЧС) 12

Ш

шквал, как ОЯП 93

Э

экстремальная геофизическая ситуа-
 ция (ЭГС) 50
 экстремальный лавинообразный ре-
 жим 83
 эрозия берегов 75

ПРИЛОЖЕНИЕ

ДАННЫЕ И РЕЗУЛЬТАТЫ РАСЧЕТА ГЕОГРАФИЧЕСКОЙ СОСТАВЛЯЮЩЕЙ ИНДЕКСА ПОТЕНЦИАЛЬНЫХ ПОТЕРЬ

Страна	Пло- щадь (км ²)	Населе- ние (тыс. чел.)	ВВП на 1 чел. в год	Смерт- ность (ЛИ/ тыс.)	Плотность населения (тыс. чел./ 1000 км ²)	Значения индекса
1	2	3	4	5	6	7
АВСТРАЛИЯ	7682300	18322	20445	7	2,4	-1,28
АВСТРИЯ	83849	7986	17443	10	95,2	0,42
АЗЕРБАЙДЖАН	86600	7789	1772	6,5	89,9	-0,29
АЛБАНИЯ	28750	3413	1113	5	118,7	-0,32
АЛЖИР	2381740	28539	3402	6	12	-1,11
АНГОЛА	1246700	10069	606	18,1	8,1	-0,97
АНДОРРА	450	66	11515	7	146,7	0,33
АНТИГУА И БАРБУДА	442	65	6154	5	147,1	0,02
АРГЕНТИНА	2778417	34293	6060	8,6	12,3	-0,83
АРМЕНИЯ	29800	3557	2277	6,7	119,4	-0,12
АРУБА (НИДЕРЛАНДЫ)	193	66	16667	8,3	342	0,88
АФГАНИСТАН	652090	21252	141	19	32,6	-0,37
БАГАМСКИЕ О-ВА	13940	256	17188	5,8	18,4	-0,53
БАНГЛАДЕШ	144000	128094	235	11,4	889,5	0,85
БАРБАДОС	450	256	9375	8,3	568,9	0,93
БАХРЕЙН	676	576	12326	3,3	852,1	0,78
БЕЛАРУСЬ	207600	10200	5235	11	49,1	-0,15
БЕЛИЗ	22963	214	2804	5,9	9,3	-1,26
БЕЛЬГИЯ	30507	10082	18002	10	330,5	0,97
БЕНИН	112622	5522	1213	14	49	-0,25
БОЛГАРИЯ	110912	8775	3840	11,3	79,1	0,01
БОЛИВИЯ	1098580	7896	2318	8,1	7,2	-1,26
БОТСВАНА	600370	1392	3089	7,4	2,3	-1,75
БРАЗИЛИЯ	8511965	160737	5514	9	18,9	-0,64
БРУНЕЙ	5765	292	15068	5,5	50,7	-0,16
БУРКИНА-ФАСО	274200	10422	624	18	38	-0,29
БУРУНДИ	27834	6262	591	21	225	0,54

1	2	3	4	5	6	7
БУТАН	47000	1781	674	15,6	37,9	-0,35
ВАНУАТУ	14763	173	1156	9,1	11,7	-1,07
ВЕЛИКОБРИТА- НИЯ	244111	58295	17929	10,7	238,8	0,86
ВЕНГРИЯ	93030	10318	5699	12,4	110,9	0,27
ВЕНЕСУЭЛА	912050	21005	8488	4,6	23	-0,75
ВЬЕТНАМ	329566	74393	1122	7,6	225,7	0,14
ГАБОН	267667	1156	4844	13,7	4,3	-1,13
ГАИТИ	27750	6540	856	18,6	235,7	0,53
ГАЙАНА	214970	724	1934	7,3	3,4	-1,65
ГАМБИЯ	11300	990	1010	16	87,6	0,04
ГАНА	238533	17763	1272	12,7	74,5	-0,11
ГВАТЕМАЛА	108889	10998	3001	7,33	101	-0,12
ГВИНЕЯ	245857	6549	962	19,3	26,6	-0,4
ГВИНЕЯ-БИСАУ	36125	1124	801	16,6	31,1	-0,4
ГЕРМАНИЯ	356954	81337	16531	10,8	227,9	0,82
ГИБРАЛТАР	6,5	32	6250	8,8	4923,1	1,79
ГОНДУРАС	112088	5459	1777	6	48,7	-0,59
ГОНКОНГ	1068	5542	24558	6	5189,1	2,05
ГРЕНАДА	344	94,5	2730	6	274,7	0,22
ГРЕНЛАНДИЯ	2175600	57,6	9000	7,2	0	-3,48
ГРЕЦИЯ	131957	10648	8800	8,3	80,7	0,06
ГРУЗИЯ	69700	5726	1048	8,7	82,2	-0,25
ДАНИЯ	43069	5199	19812	11,1	120,7	0,61
ДЖИБУТИ	23000	421	1188	15,5	18,3	-0,64
ДОМИНИКА	751	82	24390	5,3	109,2	0,32
ДОМИНИКАН- СКАЯ РЕСПУБЛИКА	48734	7511	3195	6,1	154,1	0
ЕГИПЕТ	1001450	62359	2423	8,86	62,3	-0,28
ЗАИР	2345410	44060	427	16,6	18,8	-0,65
ЗАМБИЯ	756614	9446	836	18,4	12,5	-0,75
ЗАПАДНАЯ САХАРА	266000	217	1843	18,5	0,8	-1,87
ЗИМБАБВЕ	390759	11140	1562	18,5	28,5	-0,35
ИЗРАИЛЬ	20770	5433	12903	6,4	261,6	0,57
ИНДИЯ	3287732	936546	1339	10	284,9	0,37
ИНДОНЕЗИЯ	1919443	203584	3041	8,5	106,1	-0,03
ИОРДАНИЯ	89206	4101	4145	4	46	-0,67
ИРАК	438317	20644	533	6,8	47,1	-0,63

1	2	3	4	5	6	7
ИРАН	1648000	64626	4797	6,9	39,2	-0,47
ИРЛАНДИЯ	70284	3551	14024	8,48	50,5	0,01
ИСЛАНДИЯ	102828	266	17250	6,7	2,6	-1,32
ИСПАНИЯ	504748	39404	13090	8,86	78,1	0,19
ИТАЛИЯ	301230	58262	17145	9,8	193,4	0,72
ЙЕМЕН	527970	14728	1589	8	27,9	-0,72
КАБО-ВЕРДЕ	4033	365	986	7,9	90,5	-0,25
КАЗАХСТАН	2717300	17377	3177	7,9	6,4	-1,27
КАМБОДЖА	181040	10562	606	16	58,3	-0,16
КАМЕРУН	463511	13521	1161	11	29,2	-0,59
КАНАДА	9970610	28435	22500	7	2,9	-1,17
КАТАР	11437	533	20075	3,59	46,6	-0,29
КЕНИЯ	528600	28817	1149	12	54,5	-0,28
КИПР	9251	736	9918	7,5	79,6	0,05
КИРГИЗИЯ	198500	3975	630	7,2	20	-0,97
КИРИБАТИ	717	79	7595	12,3	110,2	0,33
КИТАЙ	9560000	1203097	2476	7,4	125,8	-0,05
КОЛУМБИЯ	1141748	36200	4762	5	31,7	-0,71
КОМОРСКИЕ О-ВА	1862	549	674	11	294,8	0,39
КОНГО	342000	2505	2675	17	7,3	-0,91
КОРЕЙСКАЯ НАРОДНО- ДЕМОКРАТИ- ЧЕСКАЯ РЕСПУБЛИКА	121200	23200	360	7	191,4	-0,02
КОСТА-РИКА	51100	3419	4943	3,5	66,9	-0,53
КОТ-Д'ИВУАР	322463	14791	1386	14,9	45,9	-0,24
КУБА	114524	10937	1280	6,5	95,5	-0,29
КУВЕЙТ	17818	1817	16896	2,2	102	-0,22
ЛАОС	236800	4837	827	14	20,4	-0,66
ЛАТВИЯ	63700	2762	4453	12	43,4	-0,2
ЛЕСОТО	30355	1992	1305	8,9	65,6	-0,32
ЛИБЕРИЯ	111370	3073	748	12	27,6	-0,6
ЛИВАН	10400	3695	4276	6,4	355,3	0,43
ЛИВИЯ	1759540	5248	5450	7,9	3	-1,5
ЛИТВА	65200	3876	3483	10,9	59,4	-0,15

1	2	3	4	5	6	7
ЛИХТЕНШТЕЙН	157	30	21000	6,5	191,1	0,6
ЛЮКСЕМБУРГ	2587	378	24339	9,4	146,1	0,7
МАВРИКИЙ	2040	1127	8252	6,3	552,5	0,76
МАВРИТАНИЯ	1030700	2263	1061	47,3	2,2	-1,08
МАДАГАСКАР	587041	13862	765	12,9	23,6	-0,64
МАКЕДОНИЯ	25713	2159	880	6,7	84	-0,36
МАЛАВИ	118484	11100	658	23,5	93,7	0,22
МАЛАЙЗИЯ	332800	20100	8299	5,5	60,4	-0,26
МАЛИ	1240142	9375	576	19,3	7,6	-0,97
МАЛЬДИВЫ	298	261	1533	7	875,8	0,72
МАЛЬТА	316	400	9750	7,4	1265,8	1,24
МАРОККО	446550	29168	3000	5,9	65,3	-0,4
МАРШАЛЛОВЫ О-ВА	181,3	53	14151	7,4	292,3	0,71
МЕКСИКА	1958200	93985	1607	4,6	48	-0,72
МИКРОНЕЗИЯ	702	122	1639	6,3	173,8	-0,02
МОЗАМБИК	802000	18115	585	15,9	22,6	-0,58
МОЛДАВИЯ	33700	4489	2651	10	133,2	0,12
МОНАКО	1,9	31	18000	12,1	16315,8	2,75
МОНГОЛИЯ	1566000	2493	1765	6,8	1,6	-2,02
МЬЯНМА	678000	46500	890	10	68,6	-0,27
НАМИБИЯ	824269	1651	3513	8,6	2	-1,73
НАУРУ	21	10	10000	5,1	476,2	0,66
НЕПАЛ	140800	17800	200	8,1	126,4	-0,15
НИГЕР	1267000	9280	496	20,8	7,3	-0,96
НИГЕРИЯ	923768	101232	1211	12	109,6	0,03
НИДЕРЛАНДЫ	41548	15452	17849	8,4	371,9	0,95
НИКАРАГУА	129494	4256	1504	6,4	32,9	-0,75
НОВАЯ ЗЕЛАНДИЯ	270500	3600	15667	8	13,3	-0,56
НОРВЕГИЯ	387000	4330	22102	10	11,2	-0,43
ОБЪЕДИНЕННЫЕ АРАБСКИЕ ЭМИРАТЫ	83600	2500	25080	3	29,9	-0,48
ОМАН	306000	2125	8000	5	6,9	-1,25
ПАКИСТАН	796095	131541	1889	12	165,2	0,25
ПАЛАУ О-ВА	458	16	500	6,6	34,9	-0,78

1	2	3	4	5	6	7
ПАНАМА	77082	2680	4590	4,7	34,8	-0,7
ПАПУА НОВАЯ ГВИНЕЯ	462840	4294	2143	10	9,3	-1,07
ПАРАГВАЙ	406752	5358	2874	4,3	13,2	-1,24
ПЕРУ	1285215	24087	3056	6,8	18,7	-0,88
ПОЛЬША	312683	38620	4948	10	123,5	0,19
ПОРТУГАЛИЯ	91985	10552	10169	9,6	114,7	0,32
РОССИЯ	1707520 0	149909	4811	11,3	8,8	-0,91
РУАНДА	26340	8605	918	1,8	326,7	-0,34
РУМУНИЯ	237500	23400	2538	11	98,5	0,02
САЛЬВАДОР	21041	5870	1670	6	279	0,16
САН-МАРИНО	61	23	13043	7,6	377	0,81
САН-ТОМЕ И ПРИНСИПИ	1001	140	1429	8,7	139,9	0,01
САУДОВСКАЯ АРАВИЯ	1750000	18729	9242	5,5	10,7	-0,98
СВАЗИЛЕНД	17363	966	3416	10	55,6	-0,22
СЕЙШЕЛЬСКИЕ О-ВА	405	72	2111	6,7	177,8	0,04
СЕНЕГАЛ	196200	8300	1482	11,6	42,3	-0,38
СЕНТ-ВИНСЕНТ И ГРЕНАДИНЫ	388	117	2564	5	301,5	0,17
СЕНТ-КИТС И НЕВИС	261,6	40	5000	9	152,9	0,24
СЕНТ-ЛЮСИЯ	617	156	3846	6	252,8	0,24
СИНГАПУР	632	2890	19723	5,3	4572,8	1,87
СИРИЯ	186180	15451	4815	6	83	-0,21
СЛОВАКИЯ	48800	5432	6038	9	111,3	0,15
СЛОВЕНИЯ	20251	2051	7801	9	101,3	0,17
СОЕДИНЕННЫЕ ШТАТЫ АМЕРИКИ	9363200	262800	25641	8	28,1	-0,07
СОЛОМОНОВЫ ОСТРОВА	28370	399	2506	4	14,1	-1,26
СОМАЛИ	637657	9300	355	13	14,6	-0,87
СУДАН	2505813	30120	787	11,7	12	-0,97
СУРИНАМ	163270	400	2800	6	2,5	-1,83
СЬЕРРА-ЛЕОНЕ	72300	4753	947	18	65,7	-0,03

1	2	3	4	5	6	7
ТАДЖИКИСТАН	143100	6155	1381	6	43	-0,67
ТАИЛАНД	513115	60271	5893	6	117,5	-0,01
ТАЙВАНЬ	36180	21500	11953	5,7	594,3	0,86
ТАНЗАНИЯ	945050	29700	750	19	31,4	-0,34
ТОГО	56685	4410	748	11	77,8	-0,19
ТОНГА	748	100	2000	6,7	133,7	-0,09
ТРИНИДАД И ТОБАГО	5130	1271	11802	6,8	247,8	0,55
ТУВАЛУ	26	10	800	9	384,6	0,42
ТУНИС	163610	8879	4167	5	54,3	-0,5
ТУРКМЕНИСТАН	488100	4075	3190	7	8,3	-1,21
ТУРЦИЯ	779452	63405	4810	6	81,3	-0,21
УГАНДА	236860	19573	828	24	82,6	0,18
УЗБЕКИСТАН	447400	17926	960	7	40,1	-0,66
УКРАИНА	603700	51867	3648	12	85,9	0,06
УРУГВАЙ	178000	3222	7138	9	18,1	-0,6
ФИДЖИ	18333	772	5570	6	42,1	-0,47
ФИЛИППИНЫ	299765	70000	2306	7	233,5	0,19
ФИНЛЯНДИЯ	338145	5085	16087	9	15	-0,45
ФРАНЦИЯ	551000	57109	18913	9	103,6	0,44
ХОРВАТИЯ	56538	4665	2658	10	82,5	-0,09
ЦЕНТРАЛЬНО- АФРИКАНСКАЯ РЕСПУБЛИКА	623000	2700	370	10	4,3	-1,51
ЧАД	1284000	6400	438	20	5	-1,14
ЧЕХИЯ	78865	10432	7333	11	132,3	0,35
ЧИЛИ	756626	14161	6899	5,4	18,7	-0,82
ШВЕЙЦАРИЯ	41288	7084	20949	9	171,6	0,69
ШВЕЦИЯ	449964	8821	18490	10	19,6	-0,24
ШРИ-ЛАНКА	65610	17860	3225	6	272,2	0,24
ЭКВАДОР	283561	11000	3736	5,5	38,8	-0,62
ЭКВАТОРИ- АЛЬНАЯ ГВИНЕЯ	28050	420	714	14	15	-0,8
ЭРИТРЕЯ	93700	3578	503	16	38,2	-0,35
ЭСТОНИЯ	45100	1625	6400	11	36	-0,24
ЭФИОПИЯ	1221894	55979	363	16	45,8	-0,28

1	2	3	4	5	6	7
ЮГОСЛАВИЯ	121730	11101	901	7	91,2	-0,31
ЮЖНАЯ КОРЕЯ	98480	45552	11159	6	462,6	0,75
ЮЖНО- АФРИКАНСКАЯ РЕСПУБЛИКА	1225815	45095	4302	7	36,8	-0,51
ЯМАЙКА	11500	2574	1399	5,6	223,8	0,02
ЯПОНИЯ	377765	125600	20123	7	332,5	0,86

ЛИТЕРАТУРА

1. Безопасность жизнедеятельности / Белов С. В., Ильницкая А.В., Козьяков А. и др.; Под общей редакцией С.В. Белова. – М.: Высшая школа, 1999. – 448 с.
2. *Шебалин Н.В.* Закономерности в природных катастрофах. – М.: Знание, 1985. – 48 с.
3. *Григорьев А.А., Кондратьев К.Я.* Экономика и геополитика. Т.2. Экологические катастрофы. – СПб, 2001. – 687 с.
4. *Шейдеггер А.Е.* Физические аспекты природных катастроф. – М.: Недра, 1981. – 34 с.
5. Порядок действий организаций и учреждений Росгидромета при возникновении опасных природных (гидрометеорологических и гелиогеофизических) явлений. – СПб.: Гидрометеониздат, 2000. – 28 с.
6. Геологический словарь. – М.: Недра, 1978 (т.1: А–М, 486 с., т.2: Н–Я, 456 с.).
7. Гляциологический словарь // Под ред. Котлякова В.М. – Л.: Гидрометеониздат, 1984. – 527 с.
8. *Чеботарев А.И.* Гидрологический словарь. – Л.: Гидрометеониздат, 1978. – 307с.
9. *Хромов С.Н., Мамонтова Л.И.* Метеорологический словарь. – Л.: Гидрометеоиздат, 1965. – 455 с.
10. *Русин И.Н., Тараканов Г.Г.* Сверхкраткосрочные прогнозы погоды. – СПб, изд. РГГМИ, 1996. – 308 с.
11. *Каякин В.В., Тулина А.В., Дмитриева И.Л.* Прогноз и предотвращение чрезвычайных ситуаций, связанных с техноприродными процессами. – Экология и промышленность. 1997, октябрь, с. 41–47.
12. *Литвинов И.В.* Осадки в атмосфере и на поверхности земли. – Л.: Гидрометеониздат, 1980. – 208 с.
13. *Рождественский А.В., Чеботарев А.И.* Статистические методы в гидрологии. – Л.: Гидрометеониздат, 1990. – 276 с.
14. *Рожков В.А.* Теория вероятностей случайных событий, величин и функций с гидрометеорологическими примерами. Кн. I, II. – СПб.: Прогресс-Погода, 1996. – 558 с.
15. *Груза Г.В., Ранькова Э.Я.* Вероятностные метеорологические прогнозы. – Л.: Гидрометеониздат, 1983. – 271 с.
16. *Трипольников В.П.* О результатах эксперимента по прогнозированию времени возникновения сильных землетрясений на земном шаре. – Геомагнетизм и аэрономия, 1977, т. XVII, № 6, с. 1132–1134.
17. Стихийные бедствия: изучение и методы борьбы. – М.: Прогресс, 1978. – 439 с.
18. *Хандожко Л.А.* Оптимальные погодохозяйственные решения. – СПб.: изд. РГГМУ, 1999. – 162 с.
19. *Харченко С.Г., Паровина О.С.* Управление риском. – Экология и промышленность России. 2001, № 3, с. 34–37.

Учебное издание

РУСИН Игорь Николаевич

СТИХИЙНЫЕ БЕДСТВИЯ
И ВОЗМОЖНОСТИ ИХ ПРОГНОЗА

Редакторы И.Г. Максимова
О.С. Крайнова

ЛР № 020309 от 30.12.96 г.

Подписано в печать 21.11.03. Формат 60х90 1/16. Гарнитура Times New Roman.
Бумага офсетная. Печать офсетная. Усл.печ.л. 13,3. Тираж 600 экз. Заказ № 58
РГГМУ, 195196, Санкт-Петербург, Малоохтинский пр., 98.
ЗАО «Лека», 195112, Санкт-Петербург, Малоохтинский пр., 68.

СОДЕРЖАНИЕ

Предисловие	3
Введение	5
Природа стихийных бедствий	8
1. Опасные явления природы и безопасность человека	8
2. Количественная оценка масштаба катастроф	14
3. Демографический и экономический фон опасных явлений природы	23
4. Измерение разрушительной силы катастроф	30
5. Особенности и систематизация опасных явлений природы с позиции дизастологии	37
6. Перечень и характеристики опасных явлений природы	52
Прогноз гидрометеорологических стихийных бедствий	80
7. Возможности детерминистической прогностики опасных явлений природы	80
8. Вопросы вероятностного прогнозирования опасных явлений природы	98
9. Роль риска при анализе опасных явлений природы	114
Заключение	126
Предметный указатель	128
Приложение	131
Литература	138

CONTENTS

Foreword	3
Introduction	5
The nature of natural disasters	8
1. Dangerous natural phenomena and human safety	8
2. A quantitative estimation of scales of catastrophes	14
3. Demographic and economic background of the dangerous natural phenomena	23
4. Measurement of the destructive force of catastrophes	30
5. Features and systematization of the dangerous natural phenomena in terms of disastology	37
6. Nomenclature and characteristics of dangerous natural phenomena	52
Forecasting hydrometeorological natural disasters	80
7. Possibilities of deterministic prognostics of dangerous natural phenomena	80
8. Problems of probabilistic forecasting of the dangerous natural phenomena	98
9. Role of risk in the analysis of dangerous natural phenomena	114
Conclusion	126
Subject Index	128
Appendix	131
References	138