

*Факультет заочного обучения*

**МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ**  
по дисциплине  
**«ПРОГНОЗ СТИХИЙНЫХ БЕДСТВИЙ»**

Специальность 073100 – Метеорология

Курс VI

*Подлежит возврату  
на факультет заочного обучения*



Санкт-Петербург  
2003

*Одобрено Ученым советом метеорологического факультета*

**УДК 551.586**

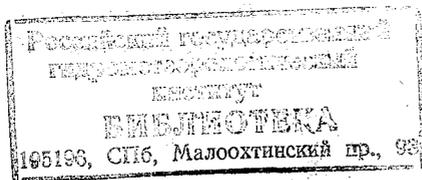
Методические указания по дисциплине «Прогноз стихийных бедствий» – СПб.: изд. РГГМУ, 2003. – 39 с.

Методические указания составлены в соответствии с программой дисциплины «Прогноз стихийных бедствий». Указаны опорные точки, на которые следует обратить внимание при самостоятельном изучении курса. Даны рекомендации по освоению разделов и выполнению практических расчетов. Приведены важные примеры, вопросы и задачи для самопроверки, рекомендуемая литература.

*Составитель:* И.Н. Русин, проф. РГГМУ

*Ответственный редактор:* В.И. Воробьев, проф. РГГМУ

*Рецензент:* Главная геофизическая обсерватория  
им. А.И. Воейкова, отдел климатологии



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

## ПРЕДИСЛОВИЕ

Дисциплина "Прогноз стихийных бедствий" является прикладной. Она подготавливает студента к работе по обслуживанию потребителей информацией о стихийных бедствиях на основе использования гидрометеорологических данных. Задачи дисциплины состоят в том, чтобы научить студента распознавать геофизические процессы, физико-географические и экономико-географические условия, которые могут приводить к возникновению опасных явлений природы и стихийных бедствий. Кроме того, необходимо показать количественные характеристики стихийных бедствий, способы определения потенциальной опасности территорий и прогнозирования возможного ущерба, продемонстрировать применение методологии метеорологического прогнозирования в задачах прогноза опасных явлений природы.

Изучение метеорологами стихийных бедствий важно для полного понимания роли гидрометеорологических процессов как их инициаторов, ускорителей и усилителей, а также для выработки умения предсказать последствия возможного воздействия одиночных или взаимосвязанных опасных явлений природы на регионы с различными экономическими, социальными и демографическими условиями. В связи с этим главное внимание в курсе уделяется изучению количественной оценки потенциально опасного воздействия явлений природы на заданную территорию, а также общих черт в описании опасных природных процессов, за которыми необходимо следить, чтобы предупредить о возможности возникновения стихийных бедствий.

Методические указания не заменяют программу по курсу (где более полно отражены все вопросы, составляющие содержание курса), а призваны только отразить главное в курсе, рекомендовать последовательность и преемственность в усвоении материала. Вопросы для самопроверки знаний направлены на то, чтобы акцентировать наиболее существенный материал. Программой не предусмотрено выполнение контрольных работ, поэтому приведены примеры важных расчетов по разделам курса и даны задачи для самостоятельного решения.

## ЛИТЕРАТУРА

1. *Русин И.Н.* Стихийные бедствия и возможности их прогноза. Учебное пособие – СПб.: изд. РГГМУ, 2003.
2. *Опасные экзогенные процессы/ В.И. Осипов, В.М. Кутепов, В.П. Зверев и др./ Под ред. В.И. Осипова. – М.: ГЕОС, 1999.*
3. *Русин И.Н., Тараканов Г.Г.* Сверхкраткосрочные прогнозы погоды. – СПб.: изд. РГГМУ, 1996.

## УКАЗАНИЯ ПО РАЗДЕЛАМ

### Раздел 1. Опасные явления природы (ОЯП) и безопасность

При изучении этого раздела студент должен уяснить, почему стихийные бедствия и природные катастрофы все в большей мере влияют на существование человечества. Следует усвоить, что способность причинить ущерб человеческим сообществам, функционирующим на заданной территории, является тем общим свойством различных с геофизической точки зрения опасных явлений природы, которое делает эти ОЯП предметом изучения единой науки -- дизастологии. Ввиду того, что терминология еще не устоялась, от студентов не требуется знать точные определения терминов: опасные явления природы (ОЯП), катастрофы, стихийные бедствия, риск. Однако он должен уметь объяснить их смысл своими словами и правильно употреблять их в ответах.

Поскольку способы оценки масштаба стихийных бедствий и природных катастроф принципиально различны в зависимости от того, имели они уже место или только ожидаются, важным элементом освоения дисциплины является умение рассчитать индекс приведенных потерь (по данным о произошедших событиях) и индекс потенциальных потерь (по совокупности географических, экономических и геофизических характеристик заданного региона). Необходимо знать, какие данные используются для описания демографического и экономического фона, на котором будут развиваться ожидаемые ОЯП. Необходимо уметь сравнивать влияние экономико-демографических особенностей на степень опасности различных территорий путем сопоставления значений географической составляющей индекса приведенных потерь. Необходимо научиться оценивать разрушительную силу идентичных по генезису стихийных бедствий и природных катастроф, происходящих с разной интенсивностью и на разных территориях.

#### *Л и т е р а т у р а*

[1] Предисловие. Введение. Разделы 1, 2, 3, 4.

#### *Вопросы для самопроверки*

1. Каково, по вашему мнению, более правильное из двух утверждений: а) «В последние годы растет число природных катастроф?» или б) «В последние годы

растет число сообщений о природных катастрофах? В чем разница между ними? Какое из них, в случае справедливости, опасней с научной и общественной точки зрения?

2. Что является предметом дизастологии как географической науки?
3. Приведите примеры природного ЧП, природной катастрофы, стихийного бедствия. Объясните разницу между опасностью и риском.
4. Какие показатели используются для оценки масштаба катастрофы? Каковы их размерности?
5. Оцените материальные потери человечества при гибели одного человека по статистическим данным прошлого года, получите коэффициент  $K$  и сравните с приведенным в учебном пособии.
6. Рассчитайте индекс приведенных потерь для одной природной катастрофы или стихийного бедствия по сообщениям средств массовой информации, используя коэффициент приведения потерь  $K$  данный в учебном пособии и полученный Вами. Объясните причины различия результатов.
7. В чем отличие индекса потенциальных потерь от индекса приведенных потерь? Почему слагаемые, составляющие индекс потенциальных потерь, считаются независимыми и каков их смысл?
8. Какие данные нужны для расчета географической составляющей индекса потенциальных потерь при заданном периоде и территории, где их найти?
9. Какая составляющая индекса потенциальных потерь должна быть связана с характеристикой интенсивности опасного явления природы? Как измеряется геофизическая интенсивность ветра как явления природы и какая шкала служит для оценки воздействия ветра на искусственные и естественные объекты?
10. Дайте ответ на вопрос, аналогичный предыдущему, для землетрясения. Существует ли ответ на такой же вопрос для наводнения?
11. Знаете ли Вы, как по карте погоды оценить площадь тропического циклона? Каковы, примерно, площади распространения известных Вам опасных явлений погоды?
12. Знаете ли Вы, как по карте погоды оценить возможную продолжительность осадков? Каковы, примерно, продолжительности известных Вам опасных явлений погоды?

### **Рекомендации по решению задач к разделу 1**

При изучении этого раздела следует усвоить методику решения трех основных задач.

- Оценить приведенные потери от заданной природной катастрофы, а также ее площадь и продолжительность, пользуясь данными, помещенными в общедоступных источниках информации.
- Рассчитать значение географической составляющей индекса приведенных потерь для заданной территории и периода.
- Оценить разрушительную силу имевшей место природной

катастрофы как остаточного члена уравнения для индекса приведенных потерь.

Ниже приведены примеры решения всех перечисленных задач. Общим замечанием, которое следует иметь в виду при решении задач, является то, что для первоначального ознакомления с методикой рекомендуется отказаться от учета нестационарности экономико-демографических характеристик. Это значит, что если специально не оговорено противное, то следует пользоваться данными и значениями коэффициентов, приведенными в учебном пособии [1].

**Задача 1.1.** Пользуясь доступными источниками информации, собрать полные данные для характеристики потерь по заданной природной катастрофе или стихийному бедствию.

**Пример 1.** Собрать информацию о наводнении в Праге в августе 2002 г. и вычислить индекс приведенных потерь.

**Решение.** Для полного описания необходимо оценить время начала стихийного бедствия, его продолжительность, площадь распространения, значение величины, характеризующей геофизическую интенсивность явления природы (в данном случае – уровень воды), число погибших, число раненых, число потерявших имущество, величину материальных потерь, характер материальных потерь по отраслям хозяйства района. Однако для вычисления используемых при изучении дисциплины величин (приведенных потерь, индекса приведенных потерь) достаточно узнать только: *а) продолжительность стихийного бедствия, б) площадь его распространения, в) число погибших, г) величину материальных потерь.*

Сложность сбора информации в том, что обычно широко освещаются только наиболее сенсационные стороны стихийного бедствия, причем разные в разных информационных источниках. Реже всего помещаются данные о площади распространения катастрофы, и эти данные приходится обычно восстанавливать по косвенным указаниям. Например, начало наводнения в Праге было отмечено во всей прессе, а окончание – уже только некоторыми источниками информации. О площади наводнения можно было судить только по репортажу НТВ, в котором отмечалось, что в районе Праги наблюдения со спутников показали, что образовалось озеро 20 км в длину и 16 км в ширину. Общее число погибших и величину материальных потерь оказалось возможным найти с помощью запроса к поисковой системе в Интернете.

Воспользовавшись этими источниками, установлено, что длительность наводнения была 7 дней, площадь распространения  $320 \text{ км}^2$  (площадь Праги  $496 \text{ км}^2$ ), погибло 16 человек, материальный ущерб составил 3000 млн \$. Кроме этого, для расчета приведенных потерь необходима оценка коэффициента экономической ценности жизни, которая в учебном пособии [1] сделана по данным за 1988 г. При решении задач эту оценку следует сохранять равной  $0.253 \text{ млн.}\$/\text{ЛИ}$ . По этим данным приведенные потери  $S$  и индекс приведенных потерь могут быть вычислены в соответствии с формулами (2.2) и (2.3) из [1] с помощью равенств:

$$S = 16 \cdot 0.253 + 3000 = 3004 \text{ [млн. \$]},$$

$$IS = \lg(S/S_0) = \lg(3004/380) = 0.898.$$

**Пример 2.** 1 мая 2003 г. ураганный ветер, достигавший скорости 30 м/с, повредил 70% зданий в г. Северо-Курильске (о-в Парамушир) и причинил материальный ущерб до 20 млн. рублей. Собрать нужную информацию и вычислить индекс приведенных потерь.

**Решение.** Для заданного стихийного бедствия несложно вычислить приведенные потери, поскольку погибших не было. В этом случае следует перевести сумму ущерба из валюты страны в доллары, используя текущий курс (приблизительно 30 руб/\$). Тогда получим  $S = 0.667 \text{ млн.}\$$ , а  $IS = \lg(0.667/379.5) = -2.76$ .

Гораздо сложнее собрать данные о площади стихийного бедствия, его продолжительности. Северо-Курильск – это поселок городского типа, которому присвоен статус города, так как он единственный в значительном регионе. Население его составляет 4000 человек. Ввиду малости, точные данные об его площади отсутствуют в общедоступных справочниках. Конечно, можно провести более полный поиск информации, но для демонстрации возможности приближенной оценки получим ее из общих соображений. Считая данный населенный пункт поселком, можно принять, что его жители живут в одноэтажных индивидуальных домах, число которых примерно равно числу семей. Если принять размер семьи в 2,5 человека, то домов должно быть примерно 1600. Каждый дом вместе с приусадебным участком занимает 0.8 га. Кроме того, площадь города включает улицы и общественные здания и примерно в два раза превышает площадь, занятую жильем. Отсюда следует, что площадь Северо-

Курильска должна быть примерно  $(1600 \cdot 0.8 \cdot 2) / 100 \text{ км}^2$ , т.е.  $26 \text{ км}^2$ .

Продолжительность воздействия ветра на строения можно установить только по метеорологическим данным. Однако специалисту понятно, что это воздействие было непродолжительно и разрушения возникали при порывах ветра. Поэтому можно в первом приближении считать, что длительность катастрофы была равна промежутку между сроками наблюдений, т.е. составляла 3 ч. Но этого может оказаться недостаточно в случае тайфуна.

**Задача 1.2.** Для заданного района и заданного времени рассчитать географическую составляющую индекса потенциальных потерь на основе доступной статистической информации.

**Пример 3.** Собрать нужную информацию и рассчитать географическую составляющую индекса потенциальных потерь для Праги в 2002 г.

**Решение.** Данные для расчета географической составляющей индекса потенциальных потерь следует собирать по статистическим справочникам (напечатанным или электронным), используя наиболее близкие к интересующему времени. Значительный объем нужной информации можно получить в Интернете, например, используя сайт <http://wgeo.ru>. Для Чехии, как и для всех стран мира, там можно найти достаточную информацию о крупных городах. В частности, площадь Праги составляет, по данным этого справочника,  $496 \text{ км}^2$ , а население – 1 278 тыс. человек. Однако демографические данные можно найти только по Чехии в целом. Смертность населения Чехии составляет 11 ЛИ/(тыс. человек в год). Аналогично данные о региональном продукте на душу населения для Праги отсутствуют, так что придется использовать значение ВВП на душу населения Чехии, равное  $7333 \text{ \$/человека}$ . Конечно, следовало бы скорректировать на 2002 г. значение глобального валового продукта на душу населения, но в учебной работе можно ограничиться значением  $5500 \text{ \$/человека}$ , принятом в [1] по данным за 1988 г.

Используя эти данные, можно получить плотность населения для Праги  $2577 \text{ человек на км}^2$  и воспользоваться формулой (3.1) из [1] для вычисления географической составляющей. Она определяется равенством

$$\begin{aligned} ISg &= \lg [\alpha_{c0} \rho_c (1 + B/B_0) / 1500] = \\ &= \lg [11 \cdot 2577 \cdot (1 + 7333/5500) / 1500] = 1.64. \end{aligned}$$

Для сравнения вычислим индекс для всей Чехии. Он отличается только за счет уменьшения плотности населения (132 человек на км<sup>2</sup>) и равен

$$ISg = \lg [11 \cdot 132 (1 + 7333/5500) / 1500] = 0.35.$$

Увеличив до 11000 \$/человека доход на душу населения, получим для Праги значение индекса 1.75. Полученные результаты важны, так как заостряют внимание на том, что географическая составляющая очень сильно зависит от правильной оценки плотности населения и регионального значения дохода на душу населения.

**Пример 4.** Собрать нужную информацию и рассчитать географическую составляющую индекса потенциальных потерь для Северо-Курильска в 2003 г.

**Решение.** Данные для расчета географической составляющей индекса потенциальных потерь для Северо-Курильска собрать значительно труднее, чем для Праги, так как это маленький город, находящийся вне сферы внимания прессы и международных справочников. С помощью поисковых систем Интернета удастся найти сведения о численности населения и некоторое количество статей, описывающих жизнь города, но не приводящих конкретных сведений. Косвенным путем в примере 2 оценена примерная площадь города в 26 км<sup>2</sup>. По численности и площади можно вычислить плотность населения, равную 154 чел./км<sup>2</sup>.

Необходимые значения смертности и валового регионального продукта на душу населения можно только приравнять к средним по Сахалинской области. Согласно официальным данным за 2000 г. по РФ, валовой региональный продукт там составил 36 376 млн. рублей при численности населения 591 тыс. человек. Это значит, что валовой региональный продукт на душу населения там составил при курсе 27,5 руб/\$ примерно 2240 \$/(человека в год). Смертность населения 13.9 ЛИ/тыс.человек.

С помощью полученных значений можно получить значение географической составляющей, равное

$$ISg = \lg [13.9 \cdot 154 \cdot (1 + 2240/5500) / 1500] = 0.30.$$

Это число можно принять, так как почти такое же получается, как видно из предыдущего примера, для сельской части Чехии.

**Задача 1.3.** Оценить разрушительную силу заданной природной катастрофы как остаточного члена уравнения для индекса приведенных потерь.

**Пример 5.** Оценить разрушительную силу наводнения в Праге в августе 2002 г.

**Решение.** Единообразная оценка масштаба разных по природе ОЯП стихийных бедствий может быть проведена на основе уравнения, определяющего индекс потенциальных потерь по формуле (2.8) из [1]:

$$IS = ISg + \lg (S/ S_0) + \lg \tau/\tau_0 + \lg E.$$

Последнее слагаемое в этой формуле в [1] названо разрушительной силой, а величина  $E$  представляет собой отношение смертности во время катастрофы к естественной смертности на данной территории за год. Величины  $S_0$  и  $\tau_0$  представляют собой единицы измерения площади и продолжительности катастроф и имеют числовые значения 1 тыс. км<sup>2</sup> и 1 год соответственно.

Если считать, что индекс потенциальных потерь  $IS$  произошедшей катастрофы стал известен и равен индексу приведенных потерь, а географическая составляющая индекса  $IS$ , площадь катастрофы и ее продолжительность известны, то значение разрушительной силы может быть оценено по формуле

$$\lg E = IS - [ISg + \lg (S/ S_0) + \lg \tau/\tau_0].$$

Расчет разрушительной силы важен, так как эта величина после накопления достаточного материала может быть связана с геофизической характеристикой интенсивности ОЯП, измеряемой приборами на сети наблюдений. Это открывает путь к прогнозированию разрушительной силы катастроф.

В рассматриваемом примере можно воспользоваться ранее рассчитанными в примерах величинами для Праги для того, чтобы попытаться оценить разрушительную силу наводнения, которая до настоящего времени никак не оценивалась. В примере 1 показано, что для наводнения в августе 2002 г.  $IS$  равен приблизительно 0.9. Площадь наводнения была 320 км<sup>2</sup> (0.32 тыс. км<sup>2</sup>), а продолжительность – 7 дней (0.029 года). В примере 3 рассчитана географическая составляющая индекса потенциальных потерь для Праги, равная 1.64. Подставив эти значения в формулу оценки разрушительной силы, получим

$$\lg E = 0.9 - [1.64 + \lg(0.32) + \lg(0.029)] = 0.9 - 1.64 + 0.49 + 1.72 = 1.47.$$

Полезно проанализировать смысл полученного результата. Для этого нужно использовать данное [1] определение разрушительной силы по формуле (6) как отношения смертности  $\alpha$  во время катастрофы к естественной смертности на данной территории за год  $\alpha_0$ . В таком случае значение 1.47, означает, что  $\alpha = \alpha_0 10^{1.47}$ , что при естественной смертности 11 ЛИ/(тыс. человек) означало бы повышение ее во время наводнения почти в 30 раз до значения 324 ЛИ/(тыс. человек). Это дает также и представление об эффективности мер защиты, применяемых в Чехии.

### **Задачи для самостоятельного решения к разделу 1**

1. Собрать данные о площади, продолжительности, жертвах и материальных потерях для крупнейшего землетрясения в Мехико в сентябре 1985 г. и вычислить по этим данным приведенные потери и индекс приведенных потерь.

2. Оценить географическую составляющую индекса потенциальных потерь для Мехико в 1985 г.

3. Используя результаты решения предыдущих задач, оценить разрушительную силу землетрясения в Мехико в 1985 г. (Сильнейший толчок по данным сейсмологов был 8.1 балла по шкале Рихтера)

4. Оценить разрушительную силу наводнения в Ленске весной 2001 г. по следующим данным: продолжительность – 5 дней, площадь 0.2 тыс. км<sup>2</sup>, население – 31 тыс. человек. Смертность по республике Саха (Якутия) – 34 ЛИ/(тыс. человек в год). Валовой региональный продукт на душу населения – 3000 \$/год. Количество жертв – 15. Материальный ущерб – 231 млн. \$.

## Раздел 2. Систематизация опасных явлений природы

При изучении этого раздела прежде всего следует понять, что цель систематизации сведений об опасных явлениях природы в изучаемой дисциплине заключается в создании максимально компактного перечня тех основных сведений об ОЯП, которые следует знать специалисту по прогнозу атмосферных процессов. Поскольку перечень ОЯП очень длинен, а физическая природа их чрезвычайно разнообразна, задачи систематизации сведений – это, во-первых, создание единообразного макета описания ОЯП, во-вторых, заполнение этого макета минимальным объемом важнейших для метеоролога сведений, в-третьих, разработка схем типичных взаимосвязей атмосферных процессов с ОЯП, связанных с другими геофизическими средами. В основе методики систематизации лежит применение приемов и понятий системного анализа. Студент к моменту изучения дисциплины уже должен знать, что такое система, параметры состояния, состав, структура.

Способ типизации природных катастроф, принятый в преподавании дисциплины, основан на отнесении ОЯП к геосферам, в которых они возникают, и учете экзогенных и эндогенных геофизических процессов – источников опасных природных процессов и явлений. Виды опасных природных геофизических процессов и явлений и поражающие факторы, связанные с ними, подробно изучаются в различных науках о Земле. В рамках изучаемого курса можно ограничиться только общим обзором. Очень полезен просмотр видеофильмов из цикла “Ярость природы” или “Разгневанная планета”, которые широко распространены. Однако необходимо четко уяснить, какая из наук о Земле изучает заданное ОЯП, чтобы иметь возможность в случае необходимости воспользоваться учебниками нужного профиля.

Нужно знать названия опасных явлений природы и науку, которая изучает геофизические процессы, приводящие к каждому из них. Ниже приведен их перечень.

### Метеорология и агрометеорология

1. Опасные изменения состава атмосферного воздуха (Кислотный дождь. Смог. Озоновая дыра).
2. Опасные конвективные явления (Крупный град. Сильный ветер. Сильный ливень. Смерч).

3. Опасные явления в устойчивой атмосфере при повышенном давлении (Сильная жара. Чрезвычайная пожароопасность. Сильный мороз. Заморозки).
4. Опасные явления в устойчивой атмосфере при пониженном давлении (Очень сильный дождь. Очень сильный снег. Сильное гололедно-изморозевое отложение на проводах).
5. Опасные синоптические положения (Сильный туман. Продолжительные сильные дожди. Сильная метель. Сильная пыльная буря. Суховей.).
6. Опасные атмосферные макропроцессы (Засуха атмосферная. Засуха почвенная.).

#### Гидрология и океанология

7. Опасные аномалии уровня поверхностных вод (Зажор. Затор. Нагонные явления. Низкая межень. Паводок. Половодье.).
8. Опасные волны (Сильное волнение. Тягун. Цунами.).
9. Опасные ледовые явления (Обледенение судов. Интенсивный дрейф льда. Навалы льда. Опасное появление льда. Опасность отрыва льда. Раннее появление льда. Сжатие льда.).

#### Гидрогеология

10. Переувлажнение почвы (Подтопление территории, заболачивание).
11. Осадка грунта.
12. Карст.

#### Геокриология

13. Криогенное пучение. Наледи. Криогенные склоновые процессы. Термокарст.

#### Геоморфология

14. Гравитационно-склоновые процессы (Обвалы, осыпи, оползни, лавины, сели).

#### Геология

15. Разуплотнение пород в результате снятия напряжений. Выветривание. Эоловые процессы. Абразия. Плывунные явления.

#### Геофизика

16. Землетрясения.
17. Вулканизм.
18. Опасные геомагнитные явления (Резкое ухудшение радиационной обстановки. Резкие изменения ионосферы (магнитная буря)).

#### Астрономия

19. Метеоритный удар.

Нужно иметь представление о минимальном наборе сведений о каждом из этих опасных явлений природы. Перечень состава этих сведений приведен ниже:

- 1) название ОЯП в соответствии с общепринятой терминологией;
- 2) определение ОЯП по справочникам или словарям той науки о Земле, которая изучает это явление;
- 3) описание экстремальной геофизической ситуации, предвещающей возникновение ОЯП;
- 4) краткая характеристика причин, которые вызвали эту ситуацию;
- 5) процесс, который может явиться импульс для перехода от экстремальной геофизической ситуации к возникновению ОЯП;
- 6) условия в районе, которые благоприятствуют развитию ОЯП;
- 7) вторичные ОЯП, которые могут развиваться, благодаря рассматриваемому;
- 8) поражающие факторы ОЯП и виды разрушений, которые оно может причинить.

Нужно обязательно уделить внимание взаимосвязям опасных процессов и явлений природы, так как стихийные бедствия за счет наложения опасных воздействий могут резко усиливаться. Примером этому являются тайфуны.

#### *Л и т е р а т у р а*

- [1] Разделы 5, 6.
- [2] Главы 1, 2, 3.
- [3] Главы 2, 3, 4, 5, 6.

#### *Вопросы для самопроверки*

1. Назовите несколько способов определения и классификации природных катастроф с позиций системного анализа.
2. Перечислите известные Вам геосферы Земли, указывая их состав, состояние и структуру.
3. Перечислите известные Вам науки о Земле, которые изучают литосферу и укажите, что именно является предметом их изучения.
4. Какие природные катастрофы связаны с астеносферой Земли?
5. Какие природные катастрофы связаны с ядром Земли?
6. Объясните термин «экстремальная геофизическая ситуация», приведите пример экстремальной геофизической ситуации, необходимой для возникновения в дальнейшем чрезвычайной пожароопасности.
7. Как Вы объясните то, что в минимальном наборе сведений, необходимых при описании каждого опасного явления природы, отсутствует описание физического процесса, лежащего в основе ОЯП.
8. Используя учебную, научную и научно-популярную литературу, составьте самостоятельно минимальный список сведений, необходимых для характеристики одного из нижеперечисленных ОЯП (землетрясение, тягун, кислотный дождь, засухой, подтопление территории, наледь, осыпь, пльвун, магнитная буря).

## Рекомендации по решению задач к разделу 2

При изучении этого раздела следует усвоить методику решения одной, но принципиально важной задачи: составить описание конкретного опасного явления природы, повлекшего за собой стихийное бедствие или природную катастрофу, руководствуясь рекомендуемым минимальным набором сведений.

Важность этой задачи определяется тем, что с ее помощью студент обучается выделению из множества сведений тех, которые необходимы для успешного распознавания предпосылок ОЯП в будущем. Нижеприведенный пример показывает методику.

**Задача 2.1.** Составить характеристику (краткое содержательное описание) конкретного опасного явления природы, повлекшего за собой стихийное бедствие или природную катастрофу. Описание должно содержать полный минимальный набор необходимых сведений.

**Пример 7.** Дать характеристику наводнения в г. Ленске весной 2001 г., пользуясь сведениями из [1].

### *Решение.*

**Определение.** Наводнение – это подъем уровня воды до отметок с обеспеченностью менее 10%, при котором происходит затопление местности, расположенной в пределах речной долины выше ежегодно затопляемой поймы.

**Экстремальная геофизическая ситуация.** Резкий рост притока воды в живое сечение реки, вызванный притоком вод снеготаяния в бассейне во время ежегодного весеннего половодья. 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.

**Причины возникновения.** Половодье – это 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. Подъем воды зависит, во-первых, от объема поступающей воды, который зависит от количества осадков в осенне-зимний период и весной, объема накопленного за зиму льда, насыщенности грунта подземными водами. Во-вторых, подъем воды контролируется площадью живого сечения реки, которое может меняться за счет заторов.

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. Метеорологические условия в районе Ленска способствовали образованию заторов весной 2001 г. Были благоприятны и ледовые условия: лед на реке был толстый, так как зима была холодной.

*Повод возникновения.* 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, к началу ледохода 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, то есть наводнение.

*Условия для обострения тенденций.* Рельеф в районе г. Ленска способствует систематическому образованию заторов: уклон дна резко уменьшается, долина реки сужается и делает крутой поворот. Выше по течению имеется ряд островов, что способствует заторообразованию.

*Связанные ОЯП.* Не было.

*Источник опасности для людей.* Уровень воды оказывается выше опасных отметок, при которых затопляются населенные пункты, береговые сооружения и объекты. Это приводит к разрушению сооружений, гибели посевов, скота, людей, возникновению угрозы эпидемий.

*Пример 8.* Дать характеристику разрушению города Каролина Бич при прохождении урагана «Фран» в сентябре 1996 г., пользуясь сведениями из видеофильма «Ураганы» из серии «Разъяренная планета».

*Решение.* Ураган «Фран», сентябрь 1996 г., США, Северная Каролина, г. Каролина Бич. Характеристика ОЯП.

*Определение.* Ураган – это длительный, сильный ветер, дующий со скоростью более 12 баллов по шкале Бофорта (более 33 м/с). В рассматриваемом случае продолжительность сильного ветра была более 12 ч, а скорость ветра превысила 180 км/ч (50 м/с). Поскольку

12/610101  
он обычно возникает в тропических циклонах, которые в США также называют ураганами, то он и сопровождается другими ОЯП, связанными с этими циклонами, а именно, очень сильными дождями и наводнениями.

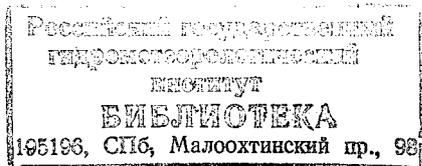
*Экстремальная геофизическая ситуация.* Тропические циклоны, вызывающие ураганы, зарождаются в штилевой зоне в широтном поясе 5–20° как слабые тропические депрессии в восточной части Атлантического и Тихого океанов, а возможно, и над континентами с последующим переходом на океан, где они двигаются на запад в зоне значительных контрастов температуры и над теплой поверхностью океана. Известно, что запас энергии в тропическом циклоне пополняется за счет движения над океанскими водами с температурой выше 27°C.

*Причины возникновения.* Ураган как сильный ветер вызывается большим перепадом давления между центром и периферией тропических циклонов. В этих условиях также развиваются и долгое время поддерживаются условия для глубокой конвекции, способствующей выпадению сильных ливней. Причины резкого падения давления, переводящего тропическую депрессию в тропический циклон, до настоящего времени точно не установлены. Траектория тропического циклона весьма изменчива и труднопредсказуема.

Ураган (тропический циклон) «Фран» долгое время прослеживался метеорологической службой США в Атлантическом океане. Он занимал большую площадь, к моменту подхода к побережью уже имел большую скорость ветра, и ему была присвоена категория III.

*Повод возникновения.* Прохождение центральной части тропического циклона, в которой наиболее сильные ветры за счет того, что совпадает направление движения центра циклона с направлением вращения воздуха в нем, с захватом примерно 200 км побережья штата Северная Каролина при его вторжении на сушу через населенную область США в районе г. Каролина Бич.

*Условия для обострения тенденций.* Прибрежное мелководье способствует подъему воды при ветровых нагонах. В районе Каролина Бич подъем уровня достиг 6 м., а уклон берега способствовал



распространению наводнения вглубь на 0.5 км. Мелководные реки с широкой поймой способствуют паводковым наводнениям. В рассматриваемом случае обострение ситуации было связано и с тем, что город еще не был полностью восстановлен после прохождения урагана «Берта» двумя месяцами раньше.

*Связанные ОЯП.* Нагонное наводнение на побережье, сопровождающееся высокими волнами. Паводковые наводнения на реках. Очень сильные дожди. На периферии урагана возникали торнадо.

*Источник опасности для людей.* Длительный, сильный ветер обладает достаточной кинетической энергией, чтобы производить механические разрушения (крыши, стены зданий). Понижение давления при прохождении центра циклона может очень быстро оказаться таким большим, что в запертых домах создается избыток давления, приводящий к подъему крыш, облегчающему последующий снос. До 90% разрушений, связанных с ураганами, возникает за счет наводнений. Уровень воды оказывается выше опасных отметок, при которых затопляются населенные пункты, береговые сооружения и объекты. Это приводит к разрушению сооружений, гибели посевов, скота, людей, возникновению угрозы эпидемий.

В рассматриваемом случае преобладали ветровые разрушения. Погибло 27 человек. Материальный ущерб составил 3 млрд/\$.

### **Задачи для самостоятельного решения к разделу 2**

1. На основе описания, данного в статье Н.В.Шебалина и Борисова Б.А. «Спитакское землетрясение», опубликованной в журнале «Природа» в 1989 г., в № 4, или любого другого доступного описания дать характеристику землетрясения в Армении 7 декабря 1988 г., руководствуясь образцами, данными в примерах 7 и 8.

2. На основе доступных Вам источников (средств массовой информации или в Интернете) выбрать одну из последних по времени природных катастроф или стихийное бедствие и составить его характеристику рекомендуемого состава.

### Раздел 3. Методология прогноза стихийных бедствий

При изучении общих принципов детерминистического подхода к прогнозу катастроф необходимо разобрать по [1] различия понятий «эволюционный цикл явления природы и заблаговременность прогноза». Нужно понять, почему человек – специалист по прогнозу не может быть исключен из системы прогнозирования ОЯП ни при каком развитии технических средств. Следует уяснить, что такое индикационный показатель (ИП) явления, проанализировать типовую схему эволюции ИП при развитии катастроф. Нужно знать, что точки КС (критерий стабильности), КБ (критерий безопасности) и КЭ (критерий экстремальности) делят эволюцию ИП на принципиально различные этапы с точки зрения важности для управления в условиях опасности. Нужно уметь представить известную из синоптической метеорологии методику прогноза опасных конвективных явлений как пример детерминистического принципа опасных явлений природы. Необходимо научиться уверенно осуществлять анализ границ применимости детерминистических методов прогноза опасных конвективных явлений с позиций общих принципов, считая радиолокационную отражаемость индикационным показателем, и разбивать ее временной ход при развитии опасных конвективных явлений точками КС, КБ и КЭ.

При изучении специфики вероятностного описания опасных явлений природы как редких событий нужно обязательно обратиться к учебникам теории вероятностей и вспомнить, что означают понятия случайное событие, дискретная и непрерывная случайные величины, закон распределения и плотность распределения вероятностей. При изучении курса предполагается, что студент хорошо понимает определения и методы оценки полной и условной вероятностей и имеет навыки пользования теоремой Байеса и схемой Бернули для расчета вероятностей повторных событий. Считается, что ему хорошо известны основные типы распределений вероятностей, применяемые для характеристик природных катастроф, такие, как биномиальное, распределение Пуассона и нормальное. Понятие о распределении Гамбела следует разобрать с помощью [1]. Методы вероятностного прогнозирования опасных явлений природы довольно широко освещаются в синоптической метеорологии. В изучаемой дисциплине особое

внимание следует уделить использованию аппарата условных вероятностей. Следует научиться хорошо пользоваться биномиальным распределением. Весьма сложный и важный случай его применения, приведенный в [1], иллюстрирует особенности оценивания прогнозов редких событий на примере применения биномиального распределения в задаче оценки прогноза даты землетрясения.

Далее следует разобрать по учебному пособию [1] различия в определениях риска при анализе опасных явлений природы. Обратите внимание на то, что различные факторы риска изучаются разными науками и уточните для себя, какими именно. Особое внимание обратите на факторы риска, изучаемые в метеорологии. Следует хорошо понять, что риск потерь от природных катастроф или стихийных бедствий является произведением двух независимых случайных величин, одна из которых описывает факт возникновения ОЯП, а другая его интенсивность. Особое внимание следует уделить учету риска в расчетах потерь. Нужно научиться практически производить учет вероятностных характеристик катастроф в индексе приведенных потерь для заданных ОЯП и заданного периода осреднения. Обратите внимание на то, как получить средние за год значения индекса потенциальных потерь, а также средние квадратичные отклонения. Важно, чтобы были поняты рассуждения, приведенные в [1], относительно оценки границ доверительного интервала выборочного среднего индекса потенциальных потерь. Нужно также научиться получать формулу для отклонения индекса потенциальных потерь от среднего значения. Эта формула полезна для оценки прогностического отклонения. Поэтому следует практиковаться и в расчете ожидаемых потерь по значению прогностического отклонения индекса приведенных потерь от среднего.

С помощью учебных пособий по гидрометеорологическому обеспечению экономики следует вспомнить, что такое матрица потерь, матрица сопряженности прогноза и факта явления, а также методику расчета и анализа этих матриц при основных модельных стратегиях потребителя (не защищаться никогда, защищаться всегда, защищаться в соответствии с прогнозом катастрофы). После этого можно перейти к изучению вопроса о применении риска для анализа стратегий управления. Здесь следует обратить внимание на

специфику расчета значений возможных потерь в условиях риска крупных, но очень редких ОЯП при основных модельных стратегиях. Полезно обратить внимание на то, что сравнение эффективности этих стратегий с учетом фактора редкости катастроф приводит к ужесточению требований к качеству прогноза, поскольку налагает серьезные ограничения на долю ложных тревог.

### *Л и т е р а т у р а*

[1] Разделы 7, 8, 9.

[2] Главы 6,7

[3] Главы 7, 8.

### *Вопросы для самопроверки*

1. Опираясь на знания по синоптической метеорологии, приведите примеры ассоциативных методов прогноза погоды, методов опережающей информации и методов экстраполяции.
2. Может ли развитие технической базы гидрометеорологической службы, в принципе, привести к полному замещению человека, дающего прогноз погоды, на техническое средство?
3. Что является характерным признаком, позволяющим различить краткосрочные, среднесрочные и долгосрочные прогнозы?
4. Какова предельная заблаговременность детерминистического прогноза опасных конвективных явлений погоды?
5. Каков период эволюционного цикла опасных конвективных явлений погоды, например, гроз?
6. Что такое индикационный показатель ОЯП и что является таковым показателем при сверхкраткосрочном прогнозировании разных опасных конвективных явлений (например, гроз)?
7. Нарисуйте схему временного хода индикационного показателя и укажите на ней точки КС, КБ, КЭ. Перечислите этапы эволюции ОЯП в соответствии с нарисованным графиком.
8. Укажите на нарисованном Вами графике ИП этап развития ОЯП, когда следует принимать решение о возникновении опасности природной катастрофы или стихийного бедствия.
9. Руководствуясь сведениями из синоптической метеорологии, схемой развития локальных явлений погоды, приведенной в [1] или [3], а также сводкой благоприятных условий стратификации, перечисленных в [1], проанализируйте процессы, приводящие к образованию опасных конвективных явлений (ливня, грозы, града и шквала) на холодном фронте. Отметьте, как повлияет горный рельеф на появление и интенсивность этих опасных явлений погоды.
10. Объясните, почему прогноз возможности факта выпадения осадков и прогноз их возможной интенсивности требует разработки двух различных классов методов.
11. Как Вы понимаете, почему ОЯП являются редкими событиями? Учтите, что торнадо, скажем, возникают несколько раз в год, а, например, извержения вулканов – один раз в десятки и даже сотни лет.
12. Перечислите законы распределения дискретных и непрерывных случайных величин, используемые при описании редких событий.

13. Чем отличается задача определения вероятности появления одного события, скажем, за год, от задачи определения вероятности появления пяти событий в год?
14. Как определить вероятность серии из нескольких событий, если известна вероятность серии из другого количества таких же событий?
15. Чем отличаются по виду графика и по характеру случайных величин ими описываемых случайные величины, задаваемые с помощью нормального закона распределения, гамма распределения и распределения Гамбела?
16. Дано три высказывания: а) перед землетрясением кошки убегают из дома, б) в момент землетрясения кошек не бывает в доме, в) когда кошки убегают из дома – жди землетрясения. Запишите вероятности справедливости этих высказываний, используя теорему умножения вероятностей. Запишите с помощью теоремы Байеса вероятность справедливости высказывания а) если известна вероятность справедливости высказывания в) и безусловные вероятности землетрясения и отсутствия кошек в домах.
17. Как Вы понимаете выражение «риск наводнения в Санкт-Петербурге больше, чем риск землетрясения в Тбилиси»?
18. Какие факторы риска природных катастроф и стихийных бедствий изучают в метеорологии, а какие в физической географии?
19. На графике, по оси абсцисс которого откладывается время в месяцах за 10 лет, нанесите функцию  $\beta(t)$ , которая покажет, что за это время в весенне-летний период случилось пять засух, две из которых длились по одному месяцу, одна – два месяца, одна – три месяца и одна – четыре месяца.
20. Найдите в учебном пособии [1] формулу для оценки 90% доверительного интервала среднего значения возможного ущерба от природных катастроф по известным первым статистическим моментам функций  $\beta(t)$  и  $f(t)$ . Разберите по тексту, почему не указан конкретный вид закона распределения для произведения  $\beta(t)f(t)$ .
21. Вычислите, насколько изменится значение индекса потенциальных потерь, если ожидается природная катастрофа, отличающаяся от средней одним из следующих показателей: а) она по площади в два раза больше, б) она по продолжительности в два раза дольше, в) она по разрушительной силе больше на 2 балла.
22. Каким значениям приведенных потерь соответствуют индексы приведенных потерь, полученные при ответе на предыдущий вопрос, если среднее значение индекса в заданном районе и для заданной катастрофы равны 1?
23. Пусть матрица сопряженности прогноза и факта катастрофы задана в таблице 1. Ответьте на следующие вопросы. а) какова вероятность ложной тревоги? б) какова вероятность пропуска цели? в) какова вероятность того, что катастрофа будет спрогнозирована?

Таблица 1.

**Матрица сопряженности прогноза природной катастрофы ( $K$ ) и факта ее появления в период прогноза (%)**

Пояснения	$K$ спрогнозирована	$K$ не спрогнозирована	Всего случаев
$K$ имела место	6	2	8
$K$ не имела места	4	88	92
Всего случаев	10	90	100

24. По условиям предыдущего вопроса записать формулу для вычисления вероятности успешного прогноза катастрофы (это формула совместной вероятности факта катастрофы и верного прогноза) через условные вероятности. Далее записать формулу для расчета условной вероятности катастрофы при наличии прогноза, используя формулу Байеса.

### Рекомендации по решению задач к разделу 3

При изучении этого раздела следует иметь в виду, что задачи на построение детерминистических методов прогноза опасных явлений погоды подробно рассматриваются в синоптической метеорологии, задачи на анализ матрицы потерь при статистических решениях решаются в экономической метеорологии. Поэтому наибольшее внимание следует уделить решению задач, связанных с применением методов теории вероятностей. Нужно научиться решать два вида таких задач.

- Рассчитать вероятность того, что рассматриваемое ОЯП произойдет в промежуток времени заданной длительности и будет иметь разрушительную силу из заданного диапазона значений.
- По заданной архивной выборке и при заранее заданном наборе признаков ОЯП вычислить все необходимые безусловные и условные вероятности для использования формулы Байеса при прогнозе вероятности ОЯП.

Важность этих задач определяется тем, что студент повторяет на практике очень тонкие и плохо усваиваемые понятия теории вероятностей и обучается их применению для успешного распознавания предпосылок ОЯП. Ниже приведены примеры.

**Задача 3.1.** Рассчитать вероятность того, что интересующее Вас ОЯП произойдет заданное число раз за промежуток времени нужной длительности и будет иметь разрушительную силу из заданного диапазона значений.

**Пример 9.** (Задача Т. Рикитакэ, рассмотренная им в монографии «Предсказание землетрясений», выпущенной в Москве в издательстве «Мир» в 1979 г.). Вычислить для района Кинто (Япония,  $34.5^\circ - 36.5^\circ$  с.ш. и  $139^\circ - 141^\circ$  в.д) вероятность того, что землетрясение с магнитудой в интервале от  $M_1 = 5$  до  $M_2 = 6$  произойдет в течение промежутка времени  $(0; t)$  при  $t$ , равном 10 дней, 3 месяца или 1 год.

Следует обратить внимание на то, что в типовой задаче требуется прогнозировать вероятность ОЯП с заданным диапазоном раз-

рушительной силы, а в примере требуется вычислить землетрясение с магнитудой из заданного диапазона. Магнитуда для землетрясения является мерой его геофизической интенсивности. Исходя из соображений, приведенных в учебном пособии [1] по изучаемой дисциплине, разрушительная сила должна выражаться через геофизическую интенсивность. Для землетрясений даже имеется связь между значениями магнитуды и баллом по шкале Рихтера. Но этот вопрос пока остается не исследованным, а типовая задача полезна для всех ОЯП. Поэтому она будет рассмотрена в той форме, в которой решена Т. Рикитаке.

**Решение.** Поскольку на современном уровне знаний статистических характеристик разных ОЯП можно только высказывать гипотезы относительно связи продолжительности ОЯП и его интенсивности, не будет сильным ограничением считать, что продолжительность и интенсивность ОЯП являются независимыми случайными величинами. Тогда обозначив через  $P(0, t; M_1, M_2)$  искомую вероятность того, что в исследуемом районе за время от 0 до  $t$  произойдет землетрясение с магнитудой из диапазона от  $M_1$ , до  $M_2$ , следует считать, что она является произведением вероятностей двух независимых случайных величин. Одна из них,  $P(0, t)$ , является вероятностью того, что землетрясение в районе произойдет в заданный промежуток времени. Другая,  $P(M_1, M_2)$ , является вероятностью того, что землетрясение в районе будет иметь магнитуду из заданного диапазона, т.е. справедлива формула

$$P(0, t; M_1, M_2) = P(M_1, M_2) P(0, t). \quad (1)$$

Теперь решение задачи может быть разбито на два этапа: во-первых, следует вычислить  $P(M_1, M_2)$  которая является вероятностью того, что землетрясение в районе будет иметь магнитуду из заданного диапазона, а во-вторых, следует вычислить вероятность  $P(0, t)$  того, что землетрясение в районе произойдет в заданный промежуток времени. Рассмотрим их последовательно.

Для прохождения первого этапа нужно иметь зависимость частоты землетрясения от его возможной магнитуды. Эта зависимость хорошо известна, носит название формулы Гутенберга – Рихтера и имеет вид

$$\text{Ln } N = a - b M. \quad (2)$$

Относительно формулы (2) нужно сделать несколько замечаний. Во-первых, следует иметь в виду, что в оригинале в ней фигурируют десятичные логарифмы. Замена на натуральные здесь произведена только из методических соображений. Во-вторых, следует знать, что коэффициенты в ней должны быть подобраны на основе изучения статистики землетрясений в заданном районе. В частности, для района Кинто, опираясь на данные Рикитаке, получим  $b = 1.848$ . (Значение коэффициента  $a$ , как будет видно, несущественно для рассматриваемой задачи). Наконец, нужно отметить, что формулы, связывающие частоту и силу ОЯП, принципиально важны для задач рассматриваемого типа и уже известны для целого ряда явлений.

Из формулы (2) следует, что частота землетрясений зависит от амплитуды экспоненциально ( $N = N_0 \exp(-bM)$ ,  $N_0 = 10^a$ ), а значит, путем интегрирования можно получить выражение для вычисления частоты землетрясений в заданном диапазоне магнитуд  $N(M_1, M_2)$  в виде

$$N(M_1, M_2) = N_0/b [\exp(-bM_1) - \exp(-bM_2)]. \quad (3)$$

Для получения формулы для вероятности следует установить предельные значения магнитуд интересующих землетрясений. Например,  $M_0=5$  представляет собой наиболее слабое из заметных на бытовом уровне землетрясений, а  $M_\infty = 8.1$  – наиболее сильно из наблюдавшихся в районе Кинто за 1926–1960 гг. Тогда вероятность землетрясений в зависимости от диапазона магнитуд может быть вычислена по формуле

$$P(M_1, M_2) = [\exp(-bM_1) - \exp(-bM_2)] / [\exp(-bM_0) - \exp(-bM_\infty)]. \quad (4)$$

Эта формула позволяет получить ответ на вопрос первого этапа. Подставляя приведенные выше значения параметров и аргументов, получим для района Кинто рабочую формулу вида

$$P(M_1, M_2) \cong 1 - \exp[-1.848(M_1 - M_2)]. \quad (5)$$

Она показывает, что искомая вероятность  $P(5, 6)$  приблизительно равна 0.84.

На втором этапе решения задачи нужно получить частоту землетрясений в Кинто в зависимости от длительности промежутка времени. Для этого удобно рассматривать землетрясения в конкрет-

ном районе как последовательность во времени или поток случайных событий. Поток событий характеризуется вероятностью появления одного события на заданном временном интервале. Поток называется простым, если вероятность появления двух событий в один и тот же момент. Простые потоки событий полностью характеризуются заданием одного параметра  $\lambda$ , представляющего собой среднее число событий за единицу времени. Если этот параметр не зависит от времени и от длительности интервала, по которому его оценивали, по поток называется стационарным. Важнейшим из стационарных потоков редких событий, наиболее часто встречающимся в природе и технике, является поток, в котором распределение вероятности  $P_{n,t}$  появления заданного числа событий  $n$  зависит от длины рассматриваемого интервала  $t$  по закону Пуассона, определяемому формулой

$$P_{n,t} = (\lambda t)^n \exp(-\lambda t) / n!. \quad (6)$$

Появление землетрясений удовлетворяет всем условиям выполнимости закона Пуассона. Оценку значения  $\lambda$  Рикитаке проводил с учетом интересующей исследователя магнитуды землетрясения. Например, для исследования землетрясений, у которых  $M$  больше 5, он использовал ряд наблюдений в районе Кинто с 1926 по 1960 г. За этот период было 159 случаев с  $6 \geq M \geq 5$ , но всего 17 случаев, когда  $M > 6$ . Это значит, что для оценки  $\lambda$  достаточно данных по случаям, когда  $M \geq 5$ . Среднее число событий за год  $\lambda$  получается равным  $176/35$  или приблизительно 5. Но если бы нужно было получить оценку этой величины для случаев  $M \geq 6$ , то данных было бы недостаточно. Тогда нужно удлинить период. По Рикитаке, с 1600 по 1960 г. (350 лет) в Кинто было 35 таких землетрясений. То есть, рассматривая такие землетрясения, следовало бы принять  $\lambda$  равным  $35/350 \approx 0.01$ .

Теперь можно получить ответ на вопрос второго этапа задачи: какова вероятность  $P(0, t;)$  того, что хотя бы одно землетрясение в районе произойдет в заданный промежуток времени. Вероятность хотя бы одного события – это вероятность того, что произойдет одно или больше событий. Но вместо этого последнего события проще рассмотреть вероятность противоположного события, т.е. вероятность того, что ни одного землетрясения в районе не произойдет.

Эту вероятность легко вычислить по формуле (5), если положить в ней  $n = 0$ . Тогда вероятность отсутствия землетрясений за время  $(0, t)$  дается выражением  $e^{-\lambda t}$ , а вероятность хотя бы одного землетрясения – формулой

$$P(0, t) = 1 - e^{-\lambda t}. \quad (7)$$

Теперь можно произвести вычисления вероятностей хотя бы одного землетрясения за конкретные промежутки времени. При этом следует время выражать в годах, поскольку размерность  $\lambda = 1/\text{год}$ . Тогда для декады будет  $P(0, 10) = 1 - e^{-510/365} \approx 0.128$ , для квартала (3 месяца) будет  $P(0, 10) = 1 - e^{-590/365} \approx 0.709$ , а для двух лет –  $P(0, 730) = 1 - e^{-52} \approx 0.99995$ .

Используя полученные результаты, можно дать полный ответ на вопрос, сформулированный в примере. Для района Кинто вероятность того, что землетрясение с магнитудой в интервале от  $M_1 = 5$  до  $M_2 = 6$  произойдет в течение промежутка времени  $(0; t)$  при  $t$ , равном 10 дней, 3 месяца или 2 года, будет по формуле (1) равна для декады  $0.128 \cdot 0.84 \approx 0.108$ , для трех месяцев  $0.709 \cdot 0.84 \approx 0.595$ , а для двух лет  $0.99995 \cdot 0.84 \approx 0.84$ .

**Задача 3.2.** Задана выборка индикаторов наличия ( $Y = 1$ ) или отсутствия ( $Y = 0$ ) некоторого события и сопутствующих значений признаков  $x_i$ , которые считаются независимыми и формально объединены в вектор – признак  $X\{x_i\}$ . Получить числовые значения всех безусловных вероятностей и априорных вероятностей компонент признака, то есть условных вероятностей значений компонент признака при  $Y = 1$ . Разработать по этой выборке методику расчета условной вероятности события  $Y = 1$ , если значения компонент вектора-признака известны.

**Пример 10.** В таблице 2 приведена выборка из 100 случаев значений аргументов, определяющих характер стратификации атмосферы и соответствующих каждому из состояний наблюдений за наличием или отсутствием грозы в этот день ( $Y = 1$  – была гроза,  $Y = 0$  – нет). Получить, на основе этой выборки, методику для расчета вероятности грозы в зависимости от значений параметров состояния атмосферы.

Таблица 2

## Выборка для разработки методики прогноза с помощью формулы Байеса

N	T <sub>max</sub>	d8	d7	d5	d3	Gr8	Gr7	Gr5	Gr3	H5	R
1	12	6	4	10	7	8,7	8,1	5,9	6,3	540	1
2	12	8	16	8	6	9,9	5,3	5,2	7,4	552	0
3	15	8	12	14	11	9,7	3,2	5,3	7,5	555	0
4	20	10	10	11	11	9,6	3,8	6,5	8,3	572	0
5	18	13	20	8	5	9	2,6	7,8	7,2	570	0
6	19	15	26	14	9	9,8	4,5	7,4	7,2	568	0
7	17	10	16	13	6	8,6	7,7	6,6	7,1	562	0
8	16	10	16	15	5	9,3	5,8	6,3	8,1	558	0
9	18	14	16	14	10	10,5	5,8	7,6	7,5	559	0
10	18	4	2	3	3	11	6,5	7,1	7,7	554	0
11	1	4	11	12	11	9,2	3,4	5,3	5,3	534	0
12	3	5	9	10	7	10,6	5,5	5,3	4,1	530	0
13	9	9	7	4	6	10,5	7,4	5,3	6,4	538	0
14	15	14	18	12	7	10,4	6	7,3	7,8	541	0
15	16	4	1	3	5	8,9	5,2	7,2	7,8	550	0
16	23	11	1	2	8	8,8	8,9	7,1	8,1	557	0
17	24	1	0	0	7	10,9	6,4	6,6	8,5	562	0
18	19	4	3	4	8	8,3	5,7	6,6	7,5	561	0
19	15	2	1	2	10	7,2	4,5	5,8	7,9	567	1
20	12	4	3	8	4	7,9	2,7	5,2	7,4	568	0
21	18	14	11	11	3	10,5	2	6,4	7,2	570	0
22	21	9	18	16	6	9,4	4,5	7,5	7,5	570	0
23	24	8	2	8	8	10,1	5,1	6,9	8,4	575	0
24	25	3	1	5	5	9,2	7,6	7,3	6,4	570	1
25	24	4	11	13	6	9,2	8,2	6,2	7,8	570	1
26	26	12	5	13	5	9,8	8,9	5,8	6,4	570	0
27	22	1	1	8	2	8,8	5,7	6,9	8,1	565	1
28	22	4	3	9	10	9,1	8,3	6,2	7,8	559	0
29	19	17	0	4	5	10,1	5,8	6,2	7,1	553	0
30	20	10	1	3	4	12,3	1,9	6,1	8	557	0
31	16	3	1	1	2	8,4	3,2	6,1	7,1	561	0
32	20	4	1	10	18	9,7	6,4	6,9	6,4	561	0
33	22	8	8	16	7	10,2	7,7	5,4	8,1	562	0
34	21	6	8	5	4	8,8	5,7	6,6	8,1	562	0
35	26	7	8	13	9	9,2	7	6,2	8	570	0
36	21	1	0	5	5	8	5,7	6,5	7,4	572	0
37	20	5	20	19	12	10,7	5,1	5,4	7,7	566	0
38	20	6	11	10	7	10,1	6	8,1	6,4	568	0
39	23	5	4	3	4	9,4	5,9	4,9	8,9	575	0
40	25	3	7	11	9	9,6	7,6	5,4	8	575	0
41	21	6	22	10	4	10,1	5,7	6,1	7,1	569	0
42	19	4	1	2	7	10,3	4,5	5,8	7,7	561	0

Продолжение таблицы 2

N	T <sub>max</sub>	d8	d7	d5	d3	Gr8	Gr7	Gr5	Gr3	H5	R
43	15	1	0	12	7	4,8	3,8	8,5	6,9	563	0
44	18	4	12	20	9	10,8	2,6	5,7	8,2	566	0
45	20	4	16	11	6	9,2	3,2	6,5	8,3	569	0
46	23	5	16	17	10	9,7	4,5	6,1	8,7	572	0
47	26	6	5	10	4	9,6	6,3	5,3	9,3	579	0
48	31	8	6	7	7	10,5	6,9	6	7,6	579	1
49	31	1	3	12	4	13,8	3,7	6,4	8,2	579	1
50	25	0	9	23	6	9,5	5,6	6	7	573	1
51	22	2	5	14	7	6,1	7,5	7,2	7,1	571	0
52	20	2	5	1	3	7,4	7	6,1	6,8	569	1
53	24	6	2	1	12	9,5	4,4	7,2	7,4	568	1
54	27	4	8	1	4	10,2	6,8	5,7	7,1	573	0
55	24	0	3	10	4	9,5	5,5	5,7	7,1	576	0
56	24	6	25	24	15	13,4	-3,1	7,9	7,9	575	0
57	28	9	7	6	11	10,7	6,3	4,9	7,6	577	0
58	29	7	12	15	15	10	6,9	5,6	7,3	577	0
59	29	13	29	16	9	10,5	5,6	6,4	7,3	579	0
60	27	15	7	8	14	7,9	7,6	5,7	7,7	574	0
61	28	6	2	16	6	10,1	8,1	6,1	8,3	571	1
62	29	5	14	22	11	15,1	4,4	5,7	8	565	0
63	25	2	16	12	8	14,4	1,9	6,1	8	567	0
64	27	2	0	9	10	10,1	6,3	5,7	7,7	571	1
65	27	3	2	1	6	9,5	6,2	6,1	7,5	571	1
66	27	6	2	9	8	9,5	6,8	5,3	7,7	572	1
67	28	2	2	12	7	10,4	6,8	5,3	8,2	570	1
68	23	1	1	0	3	7,5	5,6	4,9	7,9	571	1
69	30	7	6	10	10	10,2	6,9	5,3	7,9	573	0
70	35	18	7	12	6	9,9	9,2	6	7,5	579	0
71	35	16	8	1	4	11,3	8	7,2	7,6	579	1
72	30	6	7	15	9	10,7	6,8	4,9	8,7	579	0
73	28	6	5	8	4	7	7,5	6	8,4	583	1
74	29	4	2	21	4	8,3	7,5	6	7,3	585	1
75	32	11	6	4	4	9,7	8,1	6,1	7,6	579	0
76	32	4	8	11	10	10,1	6,8	6	7,8	586	1
77	32	7	14	15	9	10	8	5,2	8,2	589	0
78	32	6	8	17	7	9,7	7	5,9	8	595	0
79	30	3	9	16	12	10,5	4,9	6	7,8	590	0
80	27	4	16	17	14	8,9	4,3	7,1	7,4	588	0
81	25	3	24	20	14	9,8	3,1	6,4	8,7	579	0
82	29	9	11	17	13	10,5	6,9	5,3	7,8	578	0
83	28	3	7	8	4	10,5	5,6	6,4	7,6	579	0
84	30	6	4	11	3	9,1	8,8	5,7	7,3	579	0
85	25	8	33	22	18	10,8	3,7	6,1	7	574	0
86	23	10	20	14	9	9,3	3,8	6,4	7,9	574	0

Продолжение таблицы 2

N	$T_{\max}$	d8	d7	d5	d3	Gr8	Gr7	Gr5	Gr3	H5	R
87	25	16	11	16	7	9,1	9,6	3	8,2	575	0
88	2	6	5	11	4	-5	5,7	4,9	8,2	582	0
89	28	4	2	3	8	9	6,9	5,6	8,2	584	0
90	31	11	4	5	4	10,3	6,9	6	7,2	582	0
91	27	1	1	9	11	9,1	5,6	6	7,3	580	1
92	23	3	0	8	4	10,5	3,1	5,4	7,1	570	0
93	21	11	15	10	6	9,9	3,2	5,3	8,1	572	0
94	23	6	9	12	7	10,5	5,1	5,3	7,1	573	0
95	26	7	6	11	9	10,5	5,7	6,1	8,2	575	0
96	28	6	8	11	8	10,5	7	6,1	7,4	573	0
97	29	7	3	8	5	10,7	7,5	6,4	7,4	576	0
98	33	16	6	4	6	8,8	8,9	6,9	7,6	587	1
99	27	9	7	23	5	10,3	5	8	7,7	580	1
100	26	8	4	3	4	7,1	8	6,1	7,6	581	1

*Примечание:*  $T_{\max}$  – максимальная температура воздуха у земной поверхности; d8, d7, d5, d3 – дефициты точки росы на изобарических поверхностях 850, 700, 500, 300 гПа соответственно (в градусах) Gr8, Gr7, Gr5, Gr3 – термические градиенты между изобарическими поверхностями земля – 850, 850–700, 700–500, 500–300 гПа (в градусах на километр) H5 – геопотенциальная высота изобарической поверхности (в декаметрах).

**Решение.** Для построения методики апостериорной вероятности грозы (событие  $Y = 1$ ) нужно прежде всего уменьшить объем информации о состоянии атмосферы путем введения вместо числовых значений, полученных на основе измерений, некоторого меньшего числа градаций для каждого параметра состояния. Если этого не делать, то объем выборки (100 случаев) окажется недостаточным для получения статистически значимых оценок вероятностей. Число градаций удобно принять одинаковым для всех компонент вектора-признака. Тогда организация вычислительного процесса будет проста, и можно будет пользоваться самым доступным из всех вычислительных пакетов компьютеров – пакетом EXCEL.

Разобьем множества значений компонент вектора-признака на четыре градации так, чтобы в каждой их них было по 25% членов выборки. Такие градации в статистике называются квантилями. Для этого следует каждый из компонентов независимо от остальных отсортировать в порядке убывания и выбрать значения каждого компонента, соответствующие порядковым номерам 25, 50, 75. Получен-

ные значения будут границами квартилей для каждого из компонентов. Применительно к заданной выборке это сделано, и границы квартилей приведены в таблице 3. Градации поименованы путем присвоения им номеров. Самые большие значения имеют номер 4.

Таблица 3

Градации аргументов по квартилям, безусловные и априорные вероятности градаций и коэффициенты совместимости для расчета апостериорных вероятностей события  $Y = 1$  (гроза)

Граничные значения градаций 25%-ной повторяемости каждого из аргументов											
Гра- дация	Условие	$T_{\max}$	d8	d7	d5	d3	Gr8	Gr7	Gr5	Gr3	H5
4	больше	28	9	12	14	9	9,1	4,5	5,6	7,2	579
3	больше	24	6	7	10	7	9,7	5,8	6,1	7,6	571
2	больше	20	4	2	5	5	10,5	7	6,5	8	565
1	меньше	20	4	2	5	5	10,5	7	6,5	8	565
Выборочные оценки безусловной вероятности градаций											
Гра- дация	$T_{\max}$	d8	d7	d5	d3	Gr8	Gr7	Gr5	Gr3	H5	R
1	0,31	0,39	0,26	0,26	0,34	0,28	0,27	0,26	0,25	0,26	0,24
2	0,22	0,21	0,3	0,25	0,26	0	0	0	0	0,25	0,24
3	0,27	0,18	0,22	0,26	0,16	0	0	0	0	0,35	0,24
4	0,2	0,22	0,22	0,23	0,24	0,72	0,73	0,74	0,75	0,14	0,24
Выборочные оценки условной вероятности градаций при наличии события $Y = 1$ (гроза)											
Гра- дация	$T_{\max}$	d8	d7	d5	d3	Gr8	Gr7	Gr5	Gr3	H5	R
1	0,125	0,583	0,500	0,375	0,417	0,417	0,125	0,125	0,167	0,083	1
2	0,167	0,208	0,333	0,292	0,333	0,000	0,000	0,000	0,000	0,417	1
3	0,458	0,125	0,167	0,167	0,042	0,000	0,000	0,000	0,000	0,208	1
4	0,250	0,083	0,000	0,167	0,208	0,583	0,875	0,875	0,833	0,292	1
Коэффициенты совместимости для перехода по формуле Байеса от безусловной вероятности события $Y = 1$ (гроза) к апостериорной вероятности при наличии каждой градации											
Гра- дация	$T_{\max}$	d8	d7	d5	d3	Gr8	Gr7	Gr5	Gr3	H5	R
1	0,403	1,496	1,923	1,442	1,225	1,488	0,463	0,481	0,667	0,321	1
2	0,758	0,992	1,111	1,167	1,282	0,000	0,000	0,000	0,000	1,667	1
3	1,698	0,694	0,758	0,641	0,260	0,000	0,000	0,000	0,000	0,595	1
4	1,250	0,379	0,000	0,725	0,868	0,810	1,199	1,182	1,111	2,083	1

Теперь следует заменить значения параметров состояния атмосферы на номера градаций, к которой они относятся. Тем самым производится переход к описанию состояния атмосферы через набор событий, состоящих в том, что каждый компонент вектора признака попал в определенную градацию. Тогда состояние атмосферы можно рассматривать как произведение случайных событий, каждое из которых, по условию задачи, считается независимым от остальных. Пример перехода от значений наблюдений к градациям применительно к заданной выборке частично приведен в таблице 4.

Таблица 4

Пример замены значений компонентов вектора-признака на градации

Номер случая по таблице 1	$T_{\max}$	d8	d7	d5	d3	Gr8	Gr7	Gr5	Gr3	H5	R
1	1	2	2	2	2	1	4	4	1	1	1
19	1	1	1	1	4	1	1	4	4	2	1
24	3	1	1	1	1	4	4	4	1	2	1
25	2	1	3	3	2	4	4	4	4	2	1
27	2	1	1	2	1	1	4	4	4	1	1
48	4	3	2	2	2	4	4	4	4	3	1
49	4	1	2	3	1	4	1	4	4	3	1
50	3	1	3	4	2	4	4	4	1	3	1
52	1	1	2	1	1	1	4	4	1	2	1
53	2	2	1	1	4	4	1	4	4	2	1
61	3	2	1	4	2	4	4	4	4	2	1
64	3	1	1	2	4	4	4	4	4	2	1
65	3	1	1	1	2	4	4	4	4	2	1
66	3	2	1	2	3	4	4	1	4	3	1
67	3	1	1	3	2	4	4	1	4	2	1
68	2	1	1	1	1	1	4	1	4	2	1
71	4	4	3	1	1	4	4	4	4	3	1
73	3	2	2	2	1	1	4	4	4	4	1
74	4	1	1	4	1	1	4	4	4	4	1
76	4	1	3	3	4	4	4	4	4	4	1
91	3	1	1	2	4	1	4	4	4	4	1
98	4	4	2	1	2	1	4	4	4	4	1
99	3	3	2	4	1	4	4	4	4	4	1
100	3	3	2	1	1	1	4	4	4	4	1
2	1	3	4	2	2	4	4	1	4	1	0
3	1	3	3	3	4	4	1	1	4	1	0
4	1	4	3	3	4	4	1	4	4	3	0
5	1	4	4	2	1	1	1	4	1	2	0

6	1	4	4	3	3	4	1	4	1	2	0
7	1	4	4	3	2	1	4	4	1	1	0
8	1	4	4	4	1	4	4	4	4	1	0
9	1	4	4	3	4	4	4	4	4	1	0
10	1	1	1	1	1	4	4	4	4	1	0

Далее нужно подсчитать частоты попадания всех аргументов в каждую из их градаций. Поделив эти частоты на число случаев (100), можно получить оценки безусловных вероятностей каждой градации каждого аргумента. Также получается и оценка вероятности события  $Y = 1$  (гроза). В данном случае она равна 0.24. Результаты этих расчетов приведены в таблице 3. Аналогично можно получить и априорные вероятности градаций компонентов, то есть вероятности попадания значений компонентов в каждую градацию при условии, что  $Y = 1$ . Таких случаев в выборке 24. Поделив полученные условные частоты на 24, можно рассчитать оценки априорных вероятностей. Они также приведены в таблице 3.

В соответствии с формулой Байеса апостериорная вероятность  $P(Y/D)$  события  $Y = 1$  при условии, что наблюдавшийся вектор-признак  $X$  заменен на вектор градаций  $D$ , может быть рассчитана из следующего равенства:

$$\begin{aligned}
 P(Y/D) &= [P(D/Y)/P(D)] P(Y) = \\
 &= \{[P(d_1/Y) P(d_2/Y) \dots P(d_{10}/Y)] / [P(d_1) P(d_2) \dots P(d_{10})]\} P(Y) = \\
 &= [K_1 K_2 \dots K_{10}] P(Y).
 \end{aligned}$$

При записи этого равенства существенно использовано условие независимости всех компонентов вектора-признака. Кроме того, введено общепринятое в метеорологии обозначение частного  $P(d_i/Y) / [P(d_i)]$  через  $K_i$ . Величина  $K_i$  часто называется коэффициентом совместимости. Она показывает, во сколько раз увеличивается безусловная вероятность при данной градации состояния. Значения коэффициентов совместимости для всех градаций показаны в таблице 3. Понятно, что имеет смысл рассматривать только такие сочетания компонентов, при которых коэффициенты совместимости существенно больше единицы.

В реальных условиях не все значения параметров состояния оказываются благоприятны для возникновения прогнозируемого собы-

тия. Чтобы убедиться в этом в таблице 5 приведены значения коэффициентов совместимости для состояний, показанных в таблице 4.

Значения коэффициентов совместимости, выписанные для каждого компонента и для каждого конкретного случая для получения, следует перемножить. Тогда получится общий коэффициент совместимости для данного состояния D. Умножив этот коэффициент совместимости на безусловную вероятность события  $Y = 1$ , получим искомую оценку апостериорной вероятности этого события в заданном случае вектора-признака. Для того чтобы на основе этой оценки принять решение о том, готовиться ли к прогнозируемому событию, следует определить пороговую вероятность, превышение которой означает, что готовиться нужно. Выбор пороговой вероятности здесь не обосновывается, так как изучается в экономической метеорологии. Прогнозист обычно принимает пороговое значение таким, чтобы на контрольной выборке как можно лучше оправдывался прогноз. В данном случае это значение равно 0.4.

Таблица 5

Примеры расчета апостериорной вероятности события  $Y = 1$  (грозы) для фактического состояния атмосферы. Категорическое решение о возможности события принималось, если апостериорная вероятность  $P_{np}$  оказывалась больше 0.4.

N случая по табл. 2	$T_{max}$	d8	d7	d5	d3	Gr8	Gr7	Gr5	Gr3	H5	Фактическое значение Y	Произведение коэффициентов совместимости	Апостериорная вероятность события $Y=1$	Категорический прогноз
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1	0,40	0,99	1,11	1,17	1,28	1,49	1,20	1,18	0,67	0,32	1	1,40	0,34	0
19	0,40	1,50	1,92	1,44	0,87	1,49	0,46	1,18	1,11	1,67	1	1,18	0,28	0
24	1,70	1,50	1,92	1,44	1,23	0,81	1,20	1,18	0,67	1,67	1	9,91	2,38	1
25	0,76	1,50	0,76	0,64	1,28	0,81	1,20	1,18	1,11	1,67	1	0,81	0,20	0
27	0,76	1,50	1,92	1,17	1,23	1,49	1,20	1,18	1,11	0,32	1	6,57	1,58	1
48	1,25	0,69	1,11	1,17	1,28	0,81	1,20	1,18	1,11	0,60	1	1,66	0,40	0
49	1,25	1,50	1,11	0,64	1,23	0,81	0,46	1,18	1,11	0,60	1	0,72	0,17	0

Продолжение таблицы 5

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
50	1,70	1,50	0,76	0,73	1,28	0,81	1,20	1,18	0,67	0,60	1	2,05	0,49	1
52	0,40	1,50	1,11	1,44	1,23	1,49	1,20	1,18	0,67	1,67	1	2,50	0,60	1
53	0,76	0,99	1,92	1,44	0,87	0,81	0,46	1,18	1,11	1,67	1	0,80	0,19	0
61	1,70	0,99	1,92	0,73	1,28	0,81	1,20	1,18	1,11	1,67	1	3,46	0,83	1
64	1,70	1,50	1,92	1,17	0,87	0,81	1,20	1,18	1,11	1,67	1	5,68	1,36	1
65	1,70	1,50	1,92	1,44	1,28	0,81	1,20	1,18	1,11	1,67	1	10,37	2,49	1
66	1,70	0,99	1,92	1,17	0,26	0,81	1,20	0,48	1,11	0,60	1	0,46	0,11	0
67	1,70	1,50	1,92	0,64	1,28	0,81	1,20	0,48	1,11	1,67	1	1,88	0,45	1
68	0,76	1,50	1,92	1,44	1,23	1,49	1,20	0,48	1,11	1,67	1	3,31	0,79	1
71	1,25	0,38	0,76	1,44	1,23	0,81	1,20	1,18	1,11	0,60	1	0,73	0,18	0
73	1,70	0,99	1,11	1,17	1,23	1,49	1,20	1,18	1,11	2,08	1	5,64	1,35	1
74	1,25	1,50	1,92	0,73	1,23	1,49	1,20	1,18	1,11	2,08	1	6,74	1,62	1
76	1,25	1,50	0,76	0,64	0,87	0,81	1,20	1,18	1,11	2,08	1	0,91	0,22	0
91	1,70	1,50	1,92	1,17	0,87	1,49	1,20	1,18	1,11	2,08	1	10,44	2,50	1
98	1,25	0,38	1,11	1,44	1,28	1,49	1,20	1,18	1,11	2,08	1	2,05	0,49	1
99	1,70	0,69	1,11	0,73	1,23	0,81	1,20	1,18	1,11	2,08	1	1,34	0,32	0
100	1,70	0,69	1,11	1,44	1,23	1,49	1,20	1,18	1,11	2,08	1	4,88	1,17	1
2	0,40	0,69	0,00	1,17	1,28	0,81	1,20	0,48	1,11	0,32	0	0,00	0,00	0
3	0,40	0,69	0,76	0,64	0,87	0,81	0,46	0,48	1,11	0,32	0	0,02	0,01	0
4	0,40	0,38	0,76	0,64	0,87	0,81	0,46	1,18	1,11	0,60	0	0,03	0,01	0
5	0,40	0,38	0,00	1,17	1,23	1,49	0,46	1,18	0,67	1,67	0	0,00	0,00	0
6	0,40	0,38	0,00	0,64	0,26	0,81	0,46	1,18	0,67	1,67	0	0,00	0,00	0
7	0,40	0,38	0,00	0,64	1,28	1,49	1,20	1,18	0,67	0,32	0	0,00	0,00	0
8	0,40	0,38	0,00	0,73	1,23	0,81	1,20	1,18	1,11	0,32	0	0,00	0,00	0
9	0,40	0,38	0,00	0,64	0,87	0,81	1,20	1,18	1,11	0,32	0	0,00	0,00	0
10	0,40	1,50	1,92	1,44	1,23	0,81	1,20	1,18	1,11	0,32	0	2,35	0,56	1

Для оценки качества полученной методики следует составить матрицу сопряженности между прогнозируемыми и наблюдавшимися значениями исследуемой величины. Для рассматриваемого примера эта матрица приведена в таблице 6.

Таблица 6

Матрица сопряженности прогноза события  $Y = 1$  и факта его появления

Согласно наблюдениям			
Ожидалось согласно прогнозу	$Y = 1$	$Y = 0$	Всего ожидалось
$Y = 1$	14	12	26
$Y = 0$	10	64	74
Всего было	24	76	0

Полный анализ матрицы сопряженности и обоснование методики ее использования является предметом экономической метеоро-

рологии. Однако с позиций дизастиологии важно, чтобы учащийся умел рассчитать не только частоту совпадения прогноза и факта, но и частоту ложных тревог и пропусков цели. Значения этих величин следует самостоятельно отыскать в таблице 6.

### **Задачи для самостоятельного решения к разделу 3**

1. Используя данные, методику и указания из примера 9, вычислить вероятность того, что в районе Кинто в течение двух лет произойдет одно землетрясение с магнитудой от 6 до 6.5.

2. По выборке, приведенной в таблице 2, получить методику прогноза грозы на основе формулы Байеса, используя только три аргумента: максимальную температуру у земли ( $x_1$ ), дефицит точки росы ( $x_3$ ), градиент температуры в слое 700–500 гПа ( $x_8$ ). Использовать результаты расчетов, методику и указания из примера 10.

3. По результатам решения предыдущей задачи провести пробные прогнозы по 50 случаям исходной выборки и получить матрицу сопряженности прогноз/факт. Использовать результаты расчетов, методику и указания из примера 10.

### **Темы рефератов и направления учебно-научной работы**

Крупнейшие стихийные бедствия в истории человечества.

Характеристики опасных явлений природы и стихийных бедствий за разные периоды по разным территориям на основе литературных источников.

Сравнение интенсивностей и разрушительной силы опасных явлений природы разных видов.

Описание энергетики опасных природных явлений разных видов.

Оценка потенциальной опасности различных территорий с помощью индекса потенциальных потерь.

Статистика характеристик ущерба от стихийных бедствий.

Сравнение природных и техногенных катастроф различных видов.

Описание видов и расчет количественных характеристик воздействий опасных природных явлений разных видов на людей и материальные ценности.

Описание метеорологических признаков различных опасных явлений природы.

Подготовка обзоров о новых методах прогнозирования опасных явлений природы.

## Рекомендуемые видеоматериалы и интернет-сайты

При изучении раздела 2 очень полезно просмотреть доступные научно-популярные видеофильмы, демонстрирующие опасные явления природы. Например:

1. Ярость природы. Научно-популярный фильм. Produced by The National Geographic Society.

2. Пожары. Discovery из серии «Разгневанная планета». 1999

3. Ураганы. Discovery из серии «Разгневанная планета». 1999.

4. Торнадо. Discovery из серии «Разгневанная планета». 1999.

И другие видеофильмы этих серий.

Для поиска нужной в процессе обучения информации можно использовать общедоступные интернет-сайты. Например, экономические и демографические данные можно получить в сайтах <http://www.globalstat.com>, <http://www.world-gazetteer.com>, <http://www.wgeo.ru>, <http://www.gks.ru>, <http://www.mojgorod.ru>. Физико-географические данные и, в частности, полезные сведения по метеорологии – в сайтах [http://www.unep.org/geo/geo3/geo3global environment outlook](http://www.unep.org/geo/geo3/geo3global_environment_outlook), <http://www.mirkart.ru>, <http://www.gismeteo.ru>, <http://www.primogoda.ru>. Данные о природных катастрофах и стихийных бедствиях – в сайтах <http://lenta.ru/world>, <http://disasters.chat.ru>, <http://chronicl.chat.ru>, <http://planetk.narod.ru>.

Количество посвященных этой тематике сайтов постоянно возрастает, и преподаватели курса будут признательны студентам, нашедшим и сообщившим о новых источниках информации подобного рода.

## СОДЕРЖАНИЕ

Предисловие .....	3
Литература .....	3
Указания по разделам .....	4
Раздел 1. Опасные явления природы (ОЯП) и безопасность .....	4
Рекомендации по решению задач к разделу 1 .....	5
Задачи для самостоятельного решения к разделу 1 .....	11
Раздел 2. Систематизация опасных явлений природы .....	12
Рекомендации по решению задач к разделу 2 .....	15
Задачи для самостоятельного решения к разделу 2 .....	18
Раздел 3. Методология прогноза стихийных бедствий .....	19
Рекомендации по решению задач к разделу 3 .....	23
Задачи для самостоятельного решения к разделу 3 .....	36
Темы для рефератов и направления учебно-научной работы .....	36
Рекомендуемые видеоматериалы и интернет-сайты .....	37

Учебное издание

**МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ**  
по дисциплине  
**«ПРОГНОЗ СТИХИЙНЫХ БЕДСТВИЙ»**

Составитель: Игорь Николаевич Русин

*Редактор О.С. Крайнова*

ЛР № 020309 от 30.12.96.

---

Подписано в печать 28.11.03. Формат 60x90 1/16. Гарнитура Times New Roman.  
Бумага офсетная. Печать офсетная. Усл.-печ.л. 2,4. Уч.-изд.л. 2,4. Тираж 400 экз. Заказ № 61  
РГГМУ, 195196, Санкт-Петербург, Малоохтинский пр., 98.  
ЗАО «Лека», 195112, Санкт-Петербург, Малоохтинский пр., 68.

---

