

А.В. Добров, Д.Д. Курбонбеков
(Академия гражданской защиты МЧС России;
e-mail: agz@mchs.gov.ru)

ПРИРОДНО-ТЕХНОГЕННАЯ ОПАСНОСТЬ ТАДЖИКСКОЙ ЧАСТИ ФЕРГАНСКОЙ ДОЛИНЫ (СОГДИЙСКАЯ ОБЛАСТЬ)

Аннотация. Построена математическая модель для оценки опасности территории. Вычислены коэффициенты опасности и обобщенный коэффициент природно-техногенной опасности Ферганской долины.

Ключевые слова: опасность, модель, оценка.

A.A. Dobrov, D.D. Kurbonbekov

NATURAL AND MANMADE HAZARD OF TAJIK PART OF THE FERGHANA VALLEY (SOGDIAN REGION)

Abstract. A mathematical model for assessing the risk areas. The coefficients of danger and generalized coefficient of natural and industrial hazards of Ferghana valley are calculated.

Key words: danger, model, assessment.

Сведения об авторах

Добров А.В.
кандидат технических наук, доцент
Заведующий кафедрой прикладной математики
Академии гражданской защиты МЧС России

Курбонбеков Д.Д.
адъюнкт Академии гражданской защиты МЧС России

Статья поступила в редакцию Интернет-журнала 20 апреля 2010 г.

Республика Таджикистан характеризуется напряженной экологической обстановкой [по данным Госкомстата, 2002 г.]. В настоящее время в Таджикистане нет комплексного подхода к охране природы и оптимизации рационального использования природных ресурсов, хотя принята Государственная экологическая программа Республики Таджикистан на 1998-2008 годы.

Среди всех ЧС на территории Ферганской долины чаще всего наблюдаются землетрясение, затопление территории в результате частых наводнений, радиационная опасность территории.

В числе самых разрушительных стихийных бедствий прошедших десяти лет были:

- ливневые дожди в сочетании с землетрясением в Оше и Джалал-Абаде в 1992 г. (уничтожены 51000 гектаров сельхозугодий, пострадали 20000 жителей, прямой ущерб составил 31 млн долларов США);

- проливные дожди в 1993 г. (экономический ущерб 21 млн долларов США);

- крупномасштабные оползни и сели в 1994 и 2004 г. в Ошской и Джалал-Абадской областях (погибли более 200 и остались без крова 30000 чел.);

- наводнение в результате прорыва ледникового озера в 1998 г. в окрестностях Шахимардана (погибли более 100 чел., разрушения в Кыргызстане и Узбекистане);

- наводнение в Джалал-Абаде в 1998 г., вызванные сильными ливнями (по оценкам, пострадали 1200 жилых домов и общественных зданий, прямой ущерб – 240 млн долларов США);

- наводнение и сели в Согдийской области Республики Таджикистан в 1999, 2002 и 2004 годах, приведшие к масштабному ущербу.

В настоящее время в Таджикистане из-за нехватки финансовых и технических средств не проводится в должной степени мониторинг, не определяется оценка опасности, уязвимости и нет объективной оценки ситуации в связи с возможными природными и техногенными процессами.

Появление возможности проведения исследований в Ферганской долине, приходящейся на территорию Республики Таджикистан, в рамках региональной программы "Окружающая среда и безопасность в Ферганской долине" дает возможность возобновить, хотя и временно, мониторинг проявляющихся на отдельных уязвимых участках данной территории угрожающих геологических и гидрогеологических процессов, оценить нынешнюю ситуацию, определить населенные пункты, находящиеся в опасных участках развития угрожающих процессов, и показать наиболее уязвимые места осуществления митигационных проектов по проведению защитных мероприятий.

Район исследований – западная часть Ферганской долины и примыкающие к нему районы на территории Согдийской области Республики Таджикистан, как и вся территория Республики, расположенные в Альпийско-Гималайском сейсмическом поясе, относятся к зоне с высокой сейсмичностью, где происходят крупные землетрясения.

Согласно общему сейсмическому районированию, интенсивность самых сильных землетрясений, которые могут происходить на территории Ферганской долины, характеризуется в среднем 7-8 баллами и частотой 10-12 лет. Их эпицентры располагаются вдоль Северо- и Южно-Ферганских разломов. Длина Северо-Ферганского разлома составляет 250-300 км, ширина – 10-15 км. Южно-Ферганский разлом имеет длину 400 км, ширину 20 км.

Территория Ферганской долины достаточно подробно изучена с точки зрения геологического строения, тектонических движений земной коры и сейсмичности. Сейсмическая опасность района исследований обусловлена степенью "сотрясаемости" территории при землетрясениях и потенциальными потерями среди населения, нанесённым зданиям, сооружениям, строениям и другим объектам экономики ущербом, а также затратами на восстановление разрушенных объектов.

При выборе места захоронения пестицидов и ряда промышленных площадок для фабрик, заводов и других инженерных сооружений были проведены детальные инженерно-геологические и гидрогеологические исследования. Однако комплексные оценки сейсмической опасности, включающие оползневые, обвальные явления, наводнения, подтопления территорий и участков, сели и вторичные последствия землетрясений не проводились.

Основную проблему безопасности в Согдийской области создаёт наличие крупных хвостохранилищ радиоактивных отходов и отвалов радиоактивных бедных руд, которые содержат радионуклиды, соли тяжелых металлов (кадмий, свинец, цинк), а также токсичные вещества (цианиды, кислоты, силикаты, нитраты, сульфаты). По объёму накопления радиоактивных отходов Согдийская область значительно опережает другие области Ферганской долины. Опасность заключается в том, что большинство хвостохранилищ расположено вблизи населенных пунктов и около рек, многие хвостохранилища не имеют ограждений и предупредительных знаков.

Кайраккумское водохранилище, образованное плотиной Кайраккумского гидроузла на р. Сырдарье, на территории западной части Ферганской долины. Заполнение водохранилища происходило в 1956-1958 гг. Его площадь – 513 км², объём – 4,2 км³, длина – 55 км, максимальная ширина – 20 км, средняя глубина – 8,1 м, наибольшая – 25 м. Уровень водохранилища колеблется в пределах 7 м. Создано в целях обеспечения устойчивого орошения существующих поливных земель и для орошения новых массивов земель площадью свыше 300 тыс. га.

Данные об опасных событиях на территории долины обладают нечёткостью, расплывчатостью. В таких системах часто имеет место ситуация, когда объекты исследования, условия задачи, цели не могут быть описаны точно. Неточность измерений и, как следствие, нечеткость описания реальных ситуаций на территории является естественной. Однако, несмотря на такую нечеткость, в практических ситуациях обычно удается получить определенное представление об опасности и решать поставленные задачи.

Поэтому предлагается технология оценки природно-техногенной опасности территории, которая не требует точных знаний об объектах и основана на оценочных суждениях экспертов об опасных событиях и явлениях. Для решения задачи предлагается технология оценки природно-техногенной опасности таджикской части Ферганской долины (Согдийская область), основанная на методах теории нечетких множеств.

Методы теории нечетких множеств используются для решения тех задач, которые обладают неопределенностью. И по мере накопления знаний неопределенность снижается. Опасные производственные объекты, хвостохранилища характеризуются нечёткими и устаревшими данными, поэтому трудно определить достоверные границы природно-техногенной опасности.

Для оценки опасности рассматриваются сценарии различных вариантов возникновения аварий и других опасных событий и явлений.

При формировании сценария учитывается минимальное, среднее и максимальное значения поражающего фактора от опасного события, явления.

На Дигмайской возвышенности, недалеко от областного города Худжанда и Чкаловска, в 9 км от реки Сырдарьи, расположено действующее хвостохранилище ПО "Востокредмет" радиоактивных отходов и отходов извлечения редкоземельных элементов (ванадий) площадью 70 га. Оранжевый цвет его поверхности с высоты хорошо виден на фоне зеленых орошаемых полей и садов Ферганской долины.

Дигмайское хвостохранилище (рис. 1) является наиболее крупным в стране и содержит 20 млн тонн отходов переработки урансодержащей руды и около 5,7 млн тонн отходов переработки ванадиевых руд. На его поверхности радиационный фон достигает до 150-250 мкр/ч.



Рис. 1. Дигмайское урановое хвостохранилище, Таджикистан, 2004 г.
(Фото: Университет Жозефа-Стефана, Словения (П. Стегнар))

Вследствие остановки производства по переработке руды, поверхность хвостохранилища высохла и отходы обнажились, из-за чего возрос потенциал ветрового переноса пыли с радиоактивными элементами на близлежащие территории. Для уменьшения ветрового воздействия часть хвостохранилища была засеяна камышом. Также вблизи города Чкаловска расположены хвостохранилища "Карты 1-9", общей площадью 267 тыс. м², засыпанные нейтральным грунтом толщиной 0,5-1,0 м, что является недостаточным для уменьшения радиационного риска, основным источником которого является радон и продукты распада.

Вблизи поселка Адрасман расположено хвостохранилище бывшего производства урановой руды площадью 25 тыс. м² и объёмом 176 тыс. м³. Хвостохранилище радиоактивных отходов засыпано, однако рекультивация не проведена. Из-за просачивания ливневых вод происходит смыв радиоактивных веществ, а также эрозия бортов хвостохранилища под воздействием селевых паводков, что имело место в 2004 г. Величина радиационного излучения в таких размытых местах достигает 160 мкР/ч.

Сложная обстановка сложилась **в городе Табошар**. После прекращения добычи урансодержащей руды в 1991 г. вокруг горнорудного предприятия и города остались хвостохранилища площадью 573 тыс. м² и объёмом 7 млн м³. В местах обнажения отходов из-за смыва и эрозии, радиационный фон превышает 300 мкР/ч. Объём отвала бедных руд составляет 33 млн м³. Отвал и открытый карьер не рекультивированы; их материалы вымываются под воздействием ветра и дождя. Учитывая такое состояние, местное население и власти глубоко обеспокоены и поэтому в Табошаре проводится радиоэкологическое обследование территории и определение рисков для здоровья населения.

Хвостохранилище радиоактивных отходов **в городе Гафурове** (пригород Худжанда) является наиболее обустроенным, с защитным слоем 2,5 м, ограждением и предупредительными знаками. На хвостохранилище регулярно проводятся замеры радиационного фона.

Напряженная ситуация сложилась **в районе Анзобского горно-обогатительного комбината** на реке Ягноб, верхнем притоке реки Зеравшан. Из-за стихийных бедствий в 1998 г. была выведена из строя 5-километровая линия пульпопровода в хвостохранилище. В период 1998-2002 гг. производство ртутно-сурьмяного концентрата на комбинате значительно сократилось, и поэтому было достаточном временного места складирования отходов, построенного рядом. Однако в связи с промышленным ростом в 2003-2006 гг. остро встал вопрос безопасного складирования отходов, поскольку временные карты переполнены и небезопасны.

Другое крупное горнорудное предприятие на реке Зеравшан – это **золотодобывающая фабрика в поселке Согдиана**. Здесь в основе технологии кучного выщелачивания лежит применение цианидов, которые являются высокотоксичными веществами. Однако их раствор быстро нейтрализуется в течение времени. Другими опасными продуктами при добыче золота являются примеси мышьяка. Отходы складировются в специально оборудованном хвостохранилище. Органами охраны природы ежегодно проводится обследование его безопасности. На другом золоторудном предприятии области СП "Апрелевка" налажено повторное использование отходов производства.

Пожалуй, наибольшую прямую угрозу для населения и окружающей среды Согдийской области представляет **Канибадамский полигон токсичных отходов** (ядохимикаты, биологические препараты, просроченные или запрещенные к использованию) вблизи районного центра, рядом с Большим Ферганским Каналом и Кайракумским водохранилищем.

Здесь с 1973 г. по 1990 г. было сброшено около 4 *тыс.* тонн различных токсичных отходов. На полигоне отсутствует водонепроницаемый слой и дренаж, подземные горизонты не защищены от проникновения токсичных химикатов, нет ограждения, нет полных данных об объёме/типах опасных веществ. Также отсутствуют наблюдательные скважины вниз по рельефу местности, где расположены город Канибадам и ключевые водоемы; не проводится мониторинг состояния окружающей среды

В качестве критерия для оценки природно-техногенной опасности выбрана площадь территории, которая попадает в зону поражения при возникновении чрезвычайных ситуаций природного или техногенного характера. Зная плотность населения, проживающего в зоне поражения, можно определить число безвозвратных и санитарных потерь и ущерб, связанный с разрушением зданий, сооружений, коммуникаций.

В качестве критерия опасности принята "ПЛОЩАДЬ ПОРАЖЕНИЯ":

< "ПЛОЩАДЬ ПОРАЖЕНИЯ", Т, Е >,

где "ПЛОЩАДЬ ПОРАЖЕНИЯ" – имя лингвистической переменной;

Т = {М, С, Б} – термы лингвистической переменной;

М – малая площадь поражения;

С – средняя площадь поражения;

Б – большая площадь поражения;

Е = {s} – множество, на котором определены термы лингвистической переменной и элементами которого являются доли от общей площади Согдийской области попадающую в зону поражения.

Используя метод парных сравнений [5], были определены значения функции принадлежности каждого терма (рис. 2) и проведена аппроксимация функциями вида:

$$\mu_M(s) = \begin{cases} 1, & \text{если } s < 0,1; \\ 0,136 \cdot s^{-1} - 0,41^{-s}, & \text{если } s > 0,1; \end{cases}$$

$$\mu_C(s) = \begin{cases} 2,37 \cdot 10^{-2} \cdot s^{-1} + 26 \cdot s^2, & \text{если } s < 0,2; \\ 4,37 \cdot 10^{-6} \cdot s^{-2} - 1,92 \cdot 10^{-2} \cdot e^{s^2}, & \text{если } s > 0,2; \end{cases}$$

$$\mu_B(s) = \begin{cases} -1,143 \cdot s + 6,021 \cdot s^2 + 4,15 \cdot 10^{-2} e^{-2s}, & \text{если } s < 0,5; \\ 1, & \text{если } s > 0,5, \end{cases}$$

где s – доля площади территории, которая попадает в зону поражения, $s \in [0; 1]$.

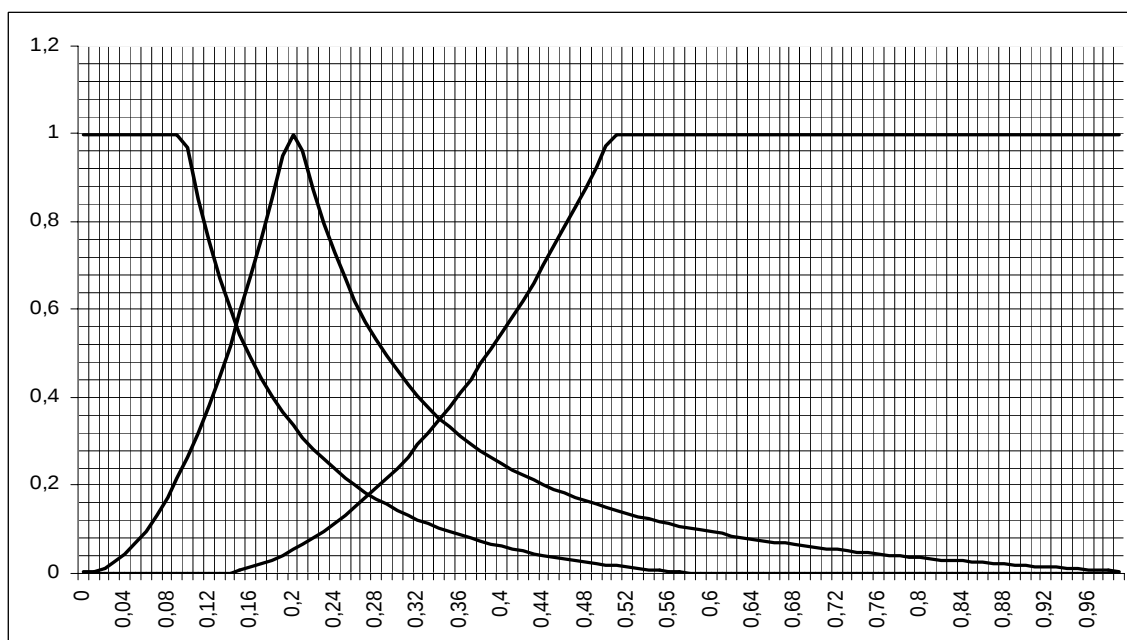


Рис. 2. Лингвистические переменные "Площадь поражения"

Используя существующие методики [4] по определению зон поражения при возникновении чрезвычайных ситуаций различного вида, определяем значение лингвистических переменных для каждого поражающего фактора для каждого источника угроз.

Рассмотрены землетрясения силой 5, 7 и 9 баллов. Для описания воздействия сейсмического удара введены лингвистические переменные Z_i – "Сейсмическая опасность", значения которых определяется как

$$Z_i = \{(M | \mu(s_j)), (C | \mu(s_j)), (B | \mu(s_j))\},$$

где Z_i – значения лингвистической переменной;

$j = 5, 7, 9$ – сила землетрясения в баллах;

$\mu(s_j)$ – значение соответствующего терма;

s_j – доля площади Согдийской области, подверженная сейсмическому воздействию.

Тогда математическая модель для оценки сейсмической опасности Согдийской области может быть представлена следующим выражением:

$$Z = Z_5 \cup Z_7 \cup Z_9,$$

где $\cup$ – символ операции объединения, которая определяется выражением

$$\tilde{A} \cup \tilde{B} = \{((x, y) | \mu_{\tilde{A} \cup \tilde{B}}(x, y))\}, x \in E, y \in Y,$$

где $\mu_{\tilde{A} \cup \tilde{B}}(x, y) = \max(\mu_{\tilde{A}}(x), \mu_{\tilde{B}}(y))$.

Значение i -го показателя опасности территории определяется по интегральному индексу ранжирования

$$h(\underset{\sim}{A}) = \sum_{\Delta\alpha} M(A_{\alpha}) \Delta\alpha,$$

где A_{α} – подмножество α – уровня нечёткого множества $\underset{\sim}{A}$;

$A \subseteq \{Z_5, Z_7, Z_9, Z\}$ – элемент системы лингвистических показателей природно-техногенной опасности Ферганской долины:

$$M(A_{\alpha}) = \frac{\inf a + \sup a}{2}, \quad a \in A_{\alpha},$$

где $\inf$ – точная нижняя грань нечёткого множества,
 $\sup$ – точная верхняя грань нечёткого множества.

Значение $h(\underset{\sim}{A})$ в пределах от 0 до 1.

Качественное значение индекса опасности определяется по шкале приведенной в [6]:



где значения индекса опасности:

- от 0 до 0,3 соответствует допустимому уровню опасности (синий цвет),
- от 0,3 до 0,5 – средний уровень опасности (жёлтый цвет);
- более 0,5 – чрезмерная опасность (красный цвет).

Аналогично определяются значения R – радиационная опасность и H – опасности наводнений.

$$R = \bigcup R_i,$$

где R – радиационная опасность территории

$R_i = \{(M|\mu(s_i)), (C|\mu(s_i)), (B|\mu(s_i))\}$ – значение показателя радиационной опасности для i -го хвостохранилища;

$i = 1, 2, 3, \dots, 10$ – количество хвостохранилищ;

$\mu(s_i)$ – значение соответствующего терма;

s_i – площадь территории, подверженная радиационному заражению в случае возникновения аварии на хвостохранилище.

$$H = H_1 \bigcup H_2,$$

$H_i = \{(M|\mu(s_i)), (C|\mu(s_i)), (B|\mu(s_i))\}$ значение показателя опасности затопления территории i :

$i = 1$ – опасность затопления в случае прорыва Кайраккумской плотины;

$i = 2$ – опасность затопления в зоне частых наводнений;

$\mu(s_i)$ – значение соответствующего терма;

s_i – площадь территории, подверженной затоплению.

Тогда природно-техногенная опасность территории Ферганской долины (Согдийская область) определяется как

$$O = Z \cup R \cup H.$$

В случае, если возникает цепочка взаимосвязанных чрезвычайных ситуаций, порождённых землетрясением, математическая модель для оценки природно-техногенной опасности территории представляет собой нечёткое соответствие, выраженное декартовым произведением [7]:

$$P = Z \times R \cup \bar{Z} \times \bar{R},$$

где "—" символ операции отрицания;

" $\times$ " символ операции декартова произведения, которое определяется выражением

$$\tilde{A} \times \tilde{B} = \{(x, y) \mid \mu_{\tilde{A} \times \tilde{B}}(x, y)\}, \quad x \in E, y \in Y,$$

где $\mu_{\tilde{A} \times \tilde{B}}(x, y) = \mu_{\tilde{A}}(x) \wedge \mu_{\tilde{B}}(y)$;

$$\mu_{\tilde{A}}(x) \wedge \mu_{\tilde{B}}(y) = \min(\mu_{\tilde{A}}(x), \mu_{\tilde{B}}(y)).$$

Тогда величина радиационной опасности в случае землетрясения силой j баллов определяется как нечеткая композиция Z_j и P

$$O_z = Z_j \circ P,$$

где " $\circ$ " - символ операции композиции, реализуемой как максиминное произведение

$$\mu_{Z \circ P}(x, z) = \bigvee_{y \in Y} (\mu_Z(x, y) \wedge \mu_P(y, z)); x \in X, y \in Y$$

Z_j – значения лингвистической переменной "Сейсмическая опасность" для землетрясения силой j баллов.

В табл. 1 приведены значения лингвистических переменных источников опасности и соответствующие им значения коэффициентов опасности.

Таблица 1

ИСТОЧНИКИ ОПАСНОСТИ	Доля площади поражения (от общей площади Согдийской области)	Значения термов			Коэффициент опасности
		Н	С	В	
Землетрясение 5 баллов	1	0	0,004	1	0,50
Землетрясение 7 баллов	0,6	0	0,1	1	0,54
Землетрясение 9 баллов	0,2	0,339	1	0,122	0,44
Низкий уровень радиации	0,15	0,549	0,585	0,052	0,24
Средний уровень радиации	0,015	1	0,006	0	0,18
Высокий уровень радиации	0,004	1	0,001	0	0,18
Наводнение при прорыве плотины	0,1	0,984	0,26	0	0,23
Частые наводнения	0,15	0,549	0,585	0,052	0,33

В табл. 2 приведены значения коэффициентов опасности для каждого вида опасности и значение коэффициента природно-техногенной опасности, вычисленного при условии независимости ЧС и их несвязанности между собой.

Таблица 2

Опасность	Степень опасности	
	k	Цвет
Сейсмическая	0,78	Красный
Радиационная	0,37	Желтый
Затопление при прорыве плотины	0,45	Желтый
Частые наводнение	0,33	Желтый
Природно-техногенная	0,71	Красный

В табл. 3 приведены значения коэффициентов опасности для сценариев, при которых инициирующим событием чрезвычайной ситуации является землетрясение, которое сопровождается радиоационным выбросом из хвостохранилищ (первая строка таблицы), наводнение, связанное с прорывом плотины Кайрокумского водохранилища (вторая строка таблицы) или оба события вместе (третья строка таблицы).

Таблица 3

Опасность	Степень опасности	
	k	Цвет
Радиационная	0,45	Желтый
Затопление при прорыве плотины	0,58	Красный
Природно-техногенная	0,87	Красный

Полученные значения коэффициентов опасности территории Согдийской области Таджикистана можно рассматривать как уровень потенциальной угрозы, которую представляет территория для населения, объектов экономики, коммуникационных сетей, расположенных на ней.

Литература

1. **Кутеминский В.Я., Леонтьевна Р.С.** Почвы Таджикистана (Условия почвообразования и география почв). Душанбе: изд-во "Ирфон", 1966.
2. **Касымов К.Р., Абдуллаев С.А.** Ленинабадской (Согдийской) области – 60 лет. М.: 4-й филиал Воениздата, 2000.
3. **Джураев А.** О состоянии хвостохранилищ и отвалов горных пород горнодобывающих и горноперерабатывающих предприятий Республики Таджикистан // Полисфера", № 3, 2000.
4. **Сборник** методических документов, применяемых для независимой оценки рисков в области пожарной безопасности, гражданской обороны и защиты населения и территорий от чрезвычайных ситуаций. М., 2008.
5. **Мелихов А.Н., Берштейн Л.С., Коровин С.Я.** Ситуационные советующие системы с нечеткой логикой. М.: Наука, 1990. 272 с.
6. **Михайлов Л.А., Соломин В.П.** Чрезвычайные ситуации природного, техногенного и социального характера и защита от них. Учебник для вузов / Под ред. Л.А. Михайлова. С.-Пб., 2009. 235 с.
7. **Кофман А.** Введение в теорию нечётких множеств. М.: Радио и связь, 1982, 432 с.