

УДК: 574.5(282.65)

Алишеров А.А., Тыныбеков А.К.

КГУСТА им. Н.Исанова, КГУ И.Арабаева

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СТАТИСТИЧЕСКИХ МЕТОДОВ ДЛЯ ОЦЕНКИ ПРИРОДНЫХ РИСКОВ

В данной статье предлагаются статистические методы для расчета рисков.

Ключевые слова: природные риски, анализ, идентификация, оценка, опасность, вероятность.

Бул макалада жаратылыштык тобокелдиктерди эсептөөнүн статистикалык ыкмалары сунушталат.

Негизги сөздөр: жаратылыштагы тобокелдиктер, анализ, баалоо, коркунуч, ыктымалдуулук.

In this paper we propose statistical methods to calculate natural risks.

Key words: natural risks, the analysis, identification, evaluation, risk, probability.

Теория риска интенсивно развивается, однако многие основополагающие положения этой науки остаются дискуссионными. До сих пор нет единого определения самого понятия "риск", очень часто термин "риск" употребляется как тождественный термину "опасность" или как синоним вероятности. *Анализ* (идентификация, оценка, прогноз) *риска* — это исследования, направленные на выявление и количественное определение различных видов риска при осуществлении каких-либо видов деятельности и хозяйственных проектов.

Анализ риска обычно начинается с его *идентификации* — выявления опасностей на рассматриваемой территории как причин риска в случае их реализации, основанного на анализе статистических данных об опасных природных и техногенных явлениях и результатах их взаимодействия с антропосферой — стихийных бедствиях, авариях и катастрофах, а также механизмов возможного воздействия их негативных факторов на различные группы населения в случае реализации опасностей.

Оценка риска состоит в его количественном измерении, т.е. определении возможных последствий реализации опасностей для различных групп населения. Целью оценки является взвешивание риска и выработка решений, направленных на его снижение. При этом оцениваются затраты и выигрыш от принимаемого решения.

Прогноз риска — это его оценка на определенный момент времени в будущем с учетом тенденций изменения условий проявления риска.

Анализ риска для населения и территорий от ЧС основан на использовании различных концепций, методов и методик [1-5].

В настоящее время приняты следующие концепции анализа риска:

— техническая (технократическая) концепция, основанная на анализе относительных частот возникновения ЧС (инициирующих чрезвычайные ситуации событий) как способе задания их вероятностей. При ее использовании имеющиеся статистические данные усредняются по масштабу, группам населения и времени;

экономическая концепция, в рамках которой анализ риска рассматривается как часть более общего затратно-прибыльного исследования.

— психологическая концепция концентрируется вокруг исследований межиндивидуальных предпочтений относительно вероятностей с целью объяснить,

почему индивидуумы не вырабатывают свое мнение о риске на основе средних значений; почему люди реагируют согласно их восприятию риска, а не объективному уровню рисков или научной оценке риска;

Социальная (культурологическая) концепция основана на социальной интерпретации нежелательных последствий с учетом групповых ценностей и интересов.

Под *опасным* понимается такое явление (авария, катастрофа, природное явление), которое приводит к формированию негативных (вредных и поражающих) факторов для населения окружающей природной среды.

В рамках технократической концепции после идентификации опасностей (выявления принципиально возможных рисков) необходимо оценить их уровень и последствия, к которым они могут привести. Для этого используют *методы оценки риска*, которые в общем случае делятся [1-5] на феноменологические, детерминистские и вероятностные. Рассмотрим области их применения.

Феноменологический метод базируется на определении возможности протекания аварийных процессов исходя из результатов анализа необходимых и достаточных условий, связанных с реализацией тех или иных законов природы. Феноменологический метод реализуется на базе фундаментальных закономерностей, которые в последние годы объединяют в рамках новой научной дисциплины — физики, химии и механики катастроф [1-5].

Детерминистский метод предусматривает анализ последовательности этапов развития аварий, начиная от исходного события через последовательность предполагаемых стадий отказов, деформаций и разрушения компонентов до установившегося конечного состояния системы. Ход аварийного процесса изучается и предсказывается с помощью математического моделирования, построения имитационных моделей и проведения сложных расчетов.

Детерминистский подход обеспечивает наглядность и психологическую приемлемость, так как дает возможность выявить основные факторы, определяющие ход процесса. В ядерной энергетике этот подход долгое время являлся основным при определении степени безопасности реакторов.

Вероятностный метод анализа риска предполагает как оценку вероятности возникновения аварии, так и расчет относительных вероятностей того или иного пути развития процессов. При этом анализируются разветвленные цепочки событий и отказов оборудования, выбирается подходящий математический аппарат и оценивается полная вероятность аварий. Расчетные математические модели в этом подходе, как правило, можно значительно упростить в сравнении с детерминистскими схемами расчета. Основные ограничения вероятностного анализа безопасности (ВАБ) связаны с недостаточностью сведений по функциям распределения параметров, а также недостаточной статистикой по отказам оборудования. Кроме того, применение упрощенных расчетных схем снижает достоверность получаемых оценок риска для тяжелых аварий. Тем не менее вероятностный метод в настоящее время считается одним из наиболее перспективных для применения в будущем.

На основе вероятностного метода могут быть построены различные методики оценки природного и техногенного рисков для населения, которые в зависимости от имеющейся (используемой) исходной информации делятся на:

- статистические, когда вероятности определяются по имеющимся статистическим данным (при их наличии);
- теоретико-вероятностные, используемые для оценки рисков от редких событий, когда статистика практически отсутствует;
- эвристические, основанные на использовании субъективных вероятностей,

получаемых с помощью экспертного оценивания; используются при оценке комплексных рисков от совокупности опасностей, когда отсутствуют не только статистические данные, но и математические модели (либо модели слишком грубы, т. е. их точность низка).

Опасность сопутствует любому виду деятельности, а ее степень характеризуют риском. Противоположным понятием является понятие безопасности. *Риск* — это возможность того, что человеческие действия или результаты его деятельности приведут к последствиям, которые воздействуют на человеческие ценности. Для оценки риска необходимы количественные показатели (рис. 1).

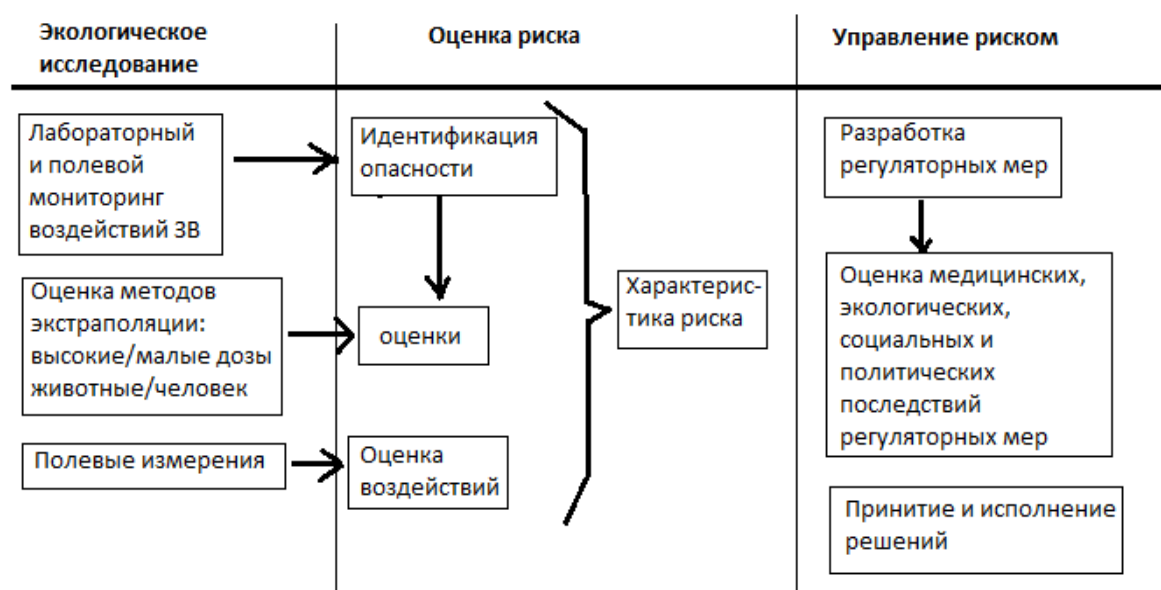


Рис. 1. Схема научных исследований в процессе экологической оценки риска

Многие риски связаны с наблюдением некоторого показателя, поведение которого в течение определённого промежутка времени или для некоторой совокупности объектов известно. Такие риски называются *статистическими* [2]. Статистическими рисками называются риски, связанные с изменением получаемого результата или величины наблюдаемого показателя, о поведении которого имеются статистические данные за прошедший промежуток времени. К статистическим рискам относится большинство финансовых, страховых, сельскохозяйственных и других рисков. Разновидностью статистических рисков являются *стохастические* риски, вероятность появления которых может быть определена математически или экспертным путем.

Стохастические риски обусловлены стохастической (вероятностной) неопределённостью. Они проявляют себя при массовых событиях в природе и обществе. Для количественной оценки (измерения) статистического риска (далее риска) в настоящее время используются метод экспертных оценок и статистический метод [3]. Суть экспертного метода заключается в получении количественных оценок риска на основе обработки мнений экспертов — специалистов в исследуемой области. Метод обычно применяется при решении сложных задач, когда отсутствует полная и достоверная информация и использование математических методов невозможно. Экспертный метод в принципе не дает гарантий достоверности полученных результатов. Сущность

статистического метода измерения риска состоит в обработке значительного массива данных, относящихся к изучаемому рисковому событию. В данном случае величина риска характеризуется некоторым статистическим показателем: вероятностью, дисперсией и др. Статистический метод обеспечивает приемлемую достоверность результатов, но при условии сохранения в перспективе тенденции развития исследуемого явления. Ведь оценка риска, в первую очередь, нужна для прогнозирования его значения в будущем. На практике для измерения риска статистическим методом чаще всего используются *вероятность и показатели вариации*. Вероятность удобна тогда, когда под риском понимается вероятность неудачи (или удачи). В этом случае величиной (уровнем) риска является вероятность того, что полученный результат окажется меньше (или больше) ожидаемого:

$$R = p(x \leq x_o), \quad (1)$$

где R — уровень риска;

p — вероятность наступления рискового события;

ли x_o — фактически полученный и ожидаемый результат соответственно.

Чем выше вероятность, тем больше риск. Данный метод требует знания закона распределения вероятности. Объективный способ определения вероятности основан на вычислении частоты, с которой тот или иной результат был получен в аналогичных условиях:

$$p = \frac{m}{N}, \quad (2)$$

где m — число исходов (результатов), благоприятствующих рисковому событию; N — общее число исходов (наблюдаемых результатов).

При отсутствии информации, достаточной для объективной оценки, прибегают к субъективному способу определения вероятности, основанному на личном опыте экспертов.

Наряду с вероятностью для измерения риска используются взаимосвязанные между собой показатели вариации:

- дисперсия

$$R = \sigma^2 = \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \cdot p_i; \quad (3)$$

- среднее квадратическое отклонение

$$R = \sigma = +\sqrt{\sigma^2}; \quad (4)$$

- коэффициент вариации

$$R = V = \frac{\sigma}{\bar{x}} \cdot 100\%, \quad (5)$$

где R — уровень риска;

σ^2 , σ V — соответственно дисперсия, среднее квадратическое отклонение и коэффициент вариации наблюдаемого результата; x_f — полученные в ходе наблюдения результаты, $i = \overline{1, n}$; — выборочная средняя наблюдаемого результата;

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n};$$

n — объем выборки (число наблюдений).

Функция $X_1(t)$ плавно изменяется во времени. Напротив, функция $X_2(t)$ отличается резкими беспорядочными отклонениями от среднего. Значения результата, описываемого функцией $X_2(t)$, менее предсказуемы.

Очевидно, что риск, связанный с получением результата вида $X_2(t)$, гораздо выше, хотя показатели вариации оценивают рассматриваемые риски одинаково. Следовательно, традиционный подход к измерению статистического риска несовершенен.

Рассматриваемое отклонение — случайная величина. Совокупность же отклонений, наблюдаемых в течение определённого промежутка времени, есть случайная функция (или случайный процесс). На рис. 1 случайные функции $x_1(t)$ и $x_2(t)$ могут служить иллюстрацией сигнала риска. Математически сигнал риска можно записать в виде [1]

$$s(t) = x(t) - x_0(t), \quad (6)$$

где $s(t)$ — сигнал риска;

$x(t)$ и $x_0(t)$ — фактически полученный и ожидаемый результаты соответственно.

Характер отклонений (поведение сигнала риска во времени) обуславливает степень риска. Энергетический спектр $F(\omega)$ можно также назвать *спектральной плотностью* дисперсии или средней мощностью сигнала риска.

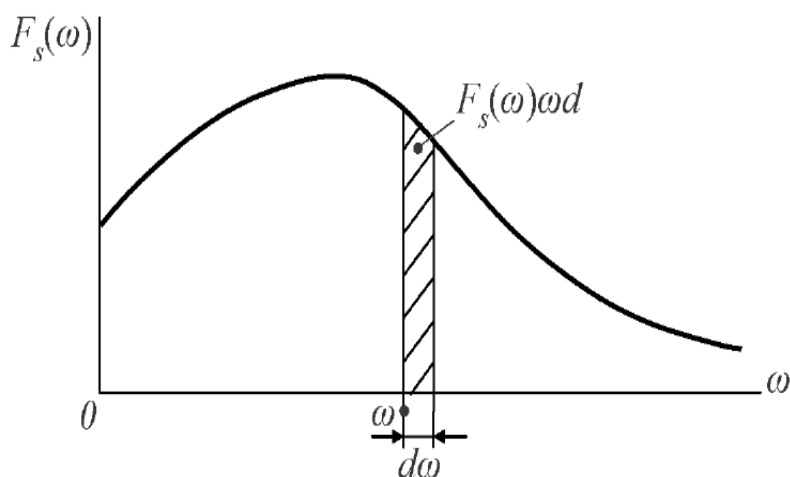


Рис. 4. Спектральная плотность $F_s(\omega)$ распределения дисперсии сигнала риска

Площадь, ограниченная кривой, равна дисперсии сигнала риска σ^2 :

$$\sigma_s^2 = \int F_s(\omega) d\omega. \quad (7)$$

Формула (7) характеризует разложение дисперсии σ^2 на сумму элементарных слагаемых, каждое из которых представляет собой дисперсию, приходящуюся на элементарный участок частот $d\omega$, прилежащий к частоте ω (рис. 2).

Каждая гармоника такого спектра имеет свою среднюю мощность. Интеграл от спектральной плотности в пределах определенной области частот называется *спектральной функцией*. Она представляет собой суммарную дисперсию (среднюю мощность) гармоник всех частот рассматриваемой полосы. Спектральная функция, вычисленная для всего диапазона частот, есть не что иное, как дисперсия сигнала риска.

Спектральное разложение сигнала риска позволяет судить о вкладе той или иной составляющей энергетического спектра в общую дисперсию, а значит, об их вкладе в величину самого риска. Состав спектральных составляющих характеризует уровень риска. Так, например, высокочастотные гармоники энергетического спектра отвечают за резкие изменения сигнала риска.

Как мы уже отмечали, максимальным риском обладает абстрактная модель случайного процесса в виде белого шума. Если принять уровень риска белого шума за базовый и присвоить ему значение, равное 100 % (или единице), то для любого другого случайного процесса величина риска будет меньше:

$$R_b = 100 \%, \text{ или } R_b = 1; \quad (8)$$

$$R < 100 \%, \text{ или } R < 1, \quad (9)$$

где R_b и R — уровень риска белого шума и изучаемого случайного процесса соответственно.

Различия в уровне риска обусловлены видом энергетического спектра. Поэтому, чтобы оценить риск, предлагается сравнивать формы энергетического спектра сигнала риска $F_s(\omega)$ и белого шума $F_b(\omega)$ в заданной полосе частот $\Delta\omega_e$ (рис. 3).

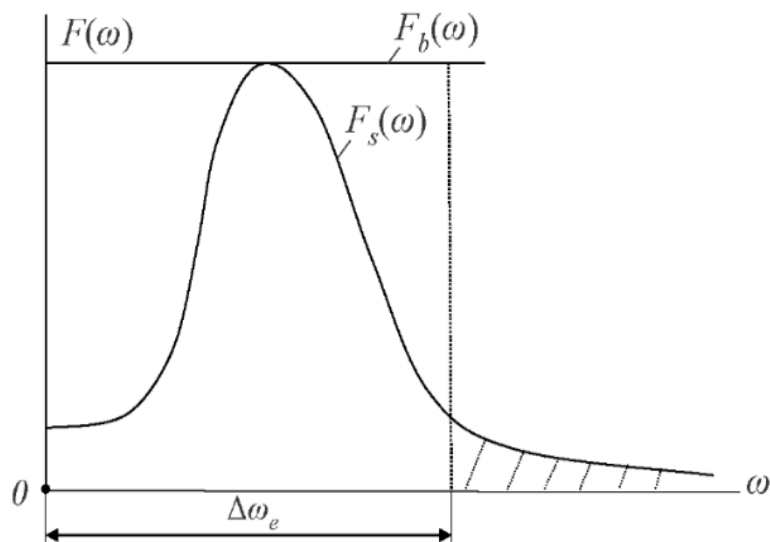


Рис. 3. Энергетические спектры сигнала риска $F_s(\omega)$ и белого шума $F_b(\omega)$

Величину риска, например, можно определить с помощью коэффициента риска, который представляет относительную величину, полученную в результате сравнения показателей формы энергетического спектра сигнала риска и белого шума:

$$R = \frac{M_{2s}}{M_{2b}} \cdot 100 \%, \quad 0 \leq R \leq 100 (\%), \quad (10)$$

где R — уровень риска;

M_{2s} и M_{2b} — показатель формы (второй центральный момент кривой энергетического спектра сигнала риска и белого шума соответственно).

Уровень риска, рассчитанный по формуле (10), будет находиться в диапазоне от 0 до 100 %. При этом верхний предел соответствует гипотетическому сигналу риска в виде белого шума. Чем больше величина коэффициента риска R , тем выше риск получения неточных оценок или прогнозирования получаемого результата. Свойство, связанное с неточностью оценки наблюдаемой характеристики (или параметра) исследуемого процесса, будем называть *рискованностью* [4]. Рискованность присуща любому случайному процессу и является его объективной характеристикой. Уровень риска зависит от формы «его» энергетического спектра. Для группы рисков разной природы, имеющих примерно одинаковый энергетический спектр, величина риска будет одна и та же. Поэтому вид энергетического спектра можно использовать в качестве классификационного признака для создания универсальной системы классификации статистических рисков [6]. Спектральный подход к исследованию риска позволяет получить объективную количественную оценку статистического риска. Для этого необходимо:

- 1) сформировать базу статистических данных для того показателя, получение которого связано с оцениваемым риском;
- 2) оценить математическое ожидание наблюдаемого показателя;
- 3) создать базу данных из отклонений полученных результатов относительно математического ожидания, то есть сформировать сигнал риска;
- 4) построить корреляционную функцию сигнала риска и проверить выполнение условия стационарности и эргодичности: с ростом промежутка между наблюдаемыми значениями корреляционная функция должна стремиться к нулю. Для большинства встречающихся на практике случаев это условие будет выполняться, так как с увеличением временного промежутка результаты наблюдения, как правило, становятся слабо коррелированными между собой;
- 5) определить энергетический спектр сигнала риска;
- 6) оценить форму энергетического спектра сигнала риска по сравнению с белым шумом и рассчитать показатель, характеризующий уровень риска.

Биоресурсы как компонент сложной системы - экосистемы - исследуются с привлечением методик статического планирования эксперимента и статистического анализа. Для корректной оценки биоресурсов приходится применять почти всю гамму статистических методов. Основными задачами исследования биоресурсов являются точная оценка их текущего состояния, прогнозирование изменения этого состояния, а также, установления характера взаимодействия процессов, происходящих в экосистеме. Для этого необходимо решать базовые статистические задачи: обеспечение репрезентативности выборок, установление законов распределения, которым подчиняются случайные параметры состояния биоресурсов, определение стационарности процессов, протекающих в экосистеме. Только при этом можно обеспечить точный прогноз (рис. 1).

ЭКОЛОГИЯ

Табл. 1. Статистические данные о количестве произошедших чрезвычайных ситуаций и жертв по Иссык-Кульской области в период с 2000 по 2012 годы

Вид чрезвычайной ситуации	2000 г.		2001 г.		2002 г.		2003 г.		2004 г.		2005 г.		2006 г.		2007 г.		2008 г.		2009 г.		2010 г.		2011 г.		2012 г.		Итого	
	к-во ЧС	к-во жертв	к-во ЧС	к-во жертв	к-во ЧС	к-во жертв	к-во ЧС	к-во жертв	к-во ЧС	к-во жертв	к-во ЧС	к-во жертв	к-во ЧС	к-во жертв	к-во ЧС	к-во жертв	к-во ЧС	к-во жертв	к-во ЧС	к-во жертв	к-во ЧС	к-во жертв	к-во ЧС	к-во жертв	к-во ЧС	к-во жертв	к-во ЧС	к-во жертв
Землетрясения	2		3		1				1		5		2		1		2		4		2		6				29	
Оползни				1																						1		
Лавины	1		1		2	5		4	12	3	1	4	2				2	5	5		12	1	2		11	4	52	25
Селевые потоки и паводки	2				3		1		1		1		2		8		7	3	4		4		6		3		41	3
Подтопление			1		1	1											1				1				3		8	
Сильные дожди			4	1			1						3		1		1				1						11	1
Техногенные аварии			1	3	1	1				4	14	2	7	4	14	7	23	3	11	6	11	3	9				31	93
Инфекции, инвазии	2		7	1								1		1										2		13	1	
Ураганы, сильные ветры			2		1									1		12	1	5		13		12		9		55	1	
Крупные пожары					1		1	1						4		1	7			4	1	10	8	7		28	17	
Град					2					1					1			3						1		8		
Снегопад	2		1			2		1									3		1							10		
Камнепад						1								1												2		
Ледяной затор																												
Прочие	4						1	3			1	2				1	3			1	2					8	10	
Всего	13	3	20	5	13	1	10		9	16	14	15	15	11	22	14	34	42	27	11	45	15	39	17	36	4	297	154

Нет данных

Как правило, понятие риска связывают с возможностью наступления сравнительно редких событий. При этом риск часто отождествляют с вероятностью Q (Δt) наступления этих событий за интервал времени Δt (как правило, за год). Вероятность Q (Δt) выступает в этом случае как мера (показатель) риска, удобная для сравнения рисков для одного объекта (субъекта) от различных событий или для различных объектов (субъектов) в типовых для них условиях функционирования (деятельности).

Риск связывают также с размером w ущерба от опасного события или явления (например, опасного природного явления — наводнения, землетрясения; аварии — взрыва, пожара), как правило, в натуральном (число пострадавших и погибших, размер зоны действия опасных факторов) или стоимостном выражении. Наиболее общим показателем риска считается математическое ожидание (среднее значение) ущерба от опасного явления за год:

$$\bar{W} = \sum_{i=0}^1 P(H_i)w_i = Q(\Delta t)w,$$

$$\text{где } P(H_0) = Q(\Delta t), P(H_1) = 1 - Q(\Delta t), w_0 = w, w_1 = 0. \quad (11)$$

Если в течение года может произойти $N > 1$ опасного явления, то показателем риска служит сумма ущербов:

$$\bar{W} = \sum_{i=1}^N w_i = a(\Delta t)\bar{w},$$

где w_i — ущерб от i -го опасного явления; \bar{w} — средний ущерб при реализации опасного явления; $a(\Delta t)$ — математическое ожидание числа опасных явлений за год.

(12)

В частном случае при $a(\Delta t) \ll 1$ (12) совпадает с (11).

Следовательно, наиболее общим показателем риска в рамках технократической концепции, применимым для любых N , является:

$$\text{Показатель риска} \left[\frac{\text{ущерб}}{\text{время}} \right] = \text{частота} \left[\frac{\text{события}}{\text{время}} \right] \times \text{средний ущерб} \left[\frac{\text{ущерб}}{\text{события}} \right].$$

Таким образом, независимыми переменными, по которым оценивается риск, являются время t и ущерб w , а для оценки (прогноза) риска необходимо определять частоты реализаций опасных явлений и ущерб от них.

$$F(w) = P(W < w) = \int_0^w f(w)dw, w \in (0, \infty),$$

где $f(w) = dF / dw$ — плотность распределения вероятностей случайной величины W .

Литература:

1. Туньбеков А.К., Assessment of the natural and environmental risk //TECHNOLOGY of CIVIL SAFETY Publishing house: The All-Russian research institute on problems of civil defense and emergency situations of Emercom of Russia (Moscow) ISSN: 1996-8493. - 2013. - No. 4 (38). - Page 72-77.
2. Туньбеков, А.К., Lelevkin, V.M. 2008. Environmental issues of the Kyrgyz Republic and Central Asia, in: Liotta, P.H., Mouat, D.A., Kepner, W.G., Lancaster, J.M. (Eds.),

Environmental Change and Human Security: Recognizing and Acting on Hazard Impacts. Springer, Dordrecht, pp. 407–432.

3. Тунубеков А.К. Natural and ecological risks of the Kyrgyz Republic, KRSU, Bishkek, 2012

4. Тунубеков А.К., Azamatov N.A. Risks Assessment of the Natural Disasters, Floods and avalanches ecology in Kyrgyz Republic. /Науч. журнал «Материаловедение», ИФТПМ, НАН КР, №3, 2015.

5. Тыныбеков А.К. Районирование экологических рисков с использованием ГИС, научный журнал «Физика», ИФТПМ, НАН КР, 2015, -с.106-116.