

УДК: 681.2.08 (07)

Алишеров А.А., Тыныбеков А.К.

КГУСТА им. Н. Исанова, КГУ им. И.Арабаева

### КОЛИЧЕСТВЕННЫЕ ОЦЕНКИ АНТРОПОГЕННЫХ РИСКОВ

В статье рассмотрены терминологическая база и возможные методы количественной оценки рисков для природных экосистем в связи с загрязнением окружающей среды.

**Ключевые слова:** экологический риск, оценки рисков, загрязнение окружающей среды, критические нагрузки.

Айлана-чөйрөнүн булганышына байланыштуу жаратылыштагы экосистеманын терминологиялык базасын жана мүмкүн болгон тобокелдикти сандык баалоо ыкмаларын түзүү каралган.

**Негизги сөздөр:** экологиялык тобокелдик, тобокелдиктерди баалоо, курчап турган чөйрөнүн булганышы, критикалык жүк.

The article deals with the terminological framework and possible methods of quantitative risks assessment for natural ecosystems due to environmental pollution.

**Key words:** environmental risk, risk assessment, environmental pollution, the critical load.

Термин «безопасность», используемый для характеристики условий и качества жизни отдельного человека, групп населения или социума в целом, обозначает одно из фундаментальных понятий нашей жизни. Вполне естественно, что на разных стадиях социально-экономического развития требования общества в отношении безопасности менялись. С середины XX века все большую значимость приобретает обеспечение экологической безопасности жизнедеятельности человека, поскольку во многих регионах мира уровень антропогенных изменений природной среды, связанный с ее загрязнением или деградацией, начинает представлять угрозу здоровью ныне живущих и будущих поколений. Для решения возникающих экологических проблем и их предотвращения многими странами разработаны экологические доктрины и национальные концепции безопасного развития, включающие экологические аспекты [1].

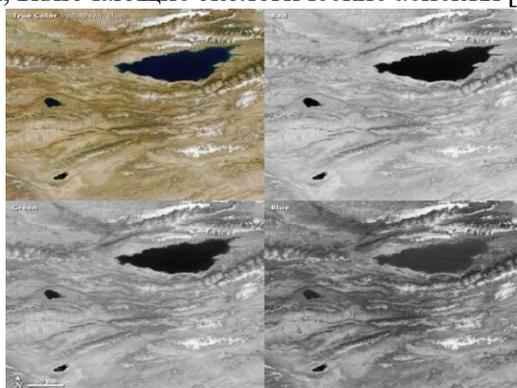


Рис. 1. Спутниковые снимки озера Иссык-Куль.

Обеспечение экологической безопасности невозможно без анализа и прогноза экологических рисков, которые отражают степень опасности возникновения неблагоприятных ситуаций, ведущих к нежелательным последствиям.

В соответствии с существующей методологией [5], анализ рисков подразделяют на два типа задач: *количественную оценку рисков* для разных сценариев развития ситуаций и *управление рисками*, относящееся к сфере принятия решений. Иногда в самостоятельный блок выделяют задачи *информирования о рисках*.

В отличие от производственной сферы, где методы оценки рисков основаны на

инженерных расчетах, использовании теории вероятности и накопленных статистических данных об опасных или чрезвычайных ситуациях, количественная параметризация причинно-следственных связей в отношении антропогенных воздействий на окружающую среду является на сегодняшний день более сложной задачей. Помимо разнообразия источников экологической опасности, связанных с той или иной сферой хозяйственной деятельности, существует целый ряд «естественных» причин, затрудняющих оценки экологических рисков. Прежде всего это:

- многокомпонентность и внутренняя сложность природных экосистем (видовая, структурная, пространственная и др.);
- нелинейный характер динамики естественного развития экосистем при многообразии и уникальности конкретных природных территориальных комплексов (ПТК);
- наличие на уровне отдельных особей, видов, популяций и экосистем в целом механизмов адаптации к изменению внешних условий, что проявляется в различии ответных реакций на схожие воздействия;
- относительная «новизна» возникающих экологических эффектов техногенных изменений природной среды, в результате чего объективно отсутствуют необходимые для расчетов статистические или мониторинговые данные.

Тем не менее во многих странах, включая РФ, методология риска все чаще используется для решения природоохранных задач и управления экологической ситуацией. Из публикаций в журнале «Проблемы анализа риска» следует упомянуть ряд статей [4], которые частично освещают эту проблематику.

Цель данной статьи — дать краткий анализ возможных методов количественной оценки экологических рисков.

Согласно общим представлениям риск — это характеристика ситуации или действия, когда возможны многие исходы, существует неопределенность в отношении конкретного исхода и, по крайней мере, одна из возможностей нежелательна. Такое определение позволяет говорить о триаде риска, включающей в себя опасность, неопределенность и/или случайность [1]. Оценки рисков во всех сферах жизни и деятельности человека ориентированы на получение данных для сравнительного анализа сценариев возможных действий с целью выбора из них наиболее целесообразных, выгодных или наименее опасных.

В отношении термина «экологический риск» и в отечественной, и в зарубежной литературе нет единой трактовки. В 70—80-е годы XX века экологический риск определялся как «риск для человека, возникающий в природных средах или передающийся через природные среды (воздух, воду, почву и биологические пищевые цепи)» [5]. Но в настоящее время риски для населения в связи с загрязнением окружающей среды определяются термином «риски для здоровья» (как перевод англоязычного термина *HealthRisk*) [2,4]. Риски для человека и экосистем, возникающие при развитии экстремальных природных явлений (землетрясений, наводнений, ураганов и т. п.), в отечественной литературе получили название геоэкологические или природные риски (в англоязычной литературе за ними закреплен термин *NaturalRisk*) [1]. В зарубежной литературе можно встретить соответствующие понятию «экологический риск» термины *EnvironmentalRisk* и *EcologicalRisk* [1].

Очень часто они используются как равнозначные. В ряде работ оценки *EcologicalRisk* трактуются как фокусирующиеся на опасности антропогенных воздействий для биологических сообществ (видов, популяций) и экосистем в целом, например опасность снижения биоразнообразия или сокращение численности конкретной популяции. Тогда как оценка *Environmental Risk* может быть ориентирована на более специфичные цели охраны окружающей среды, например на сохранение качества почв [5]. В отечественной

литературе последних лет под экологическим риском понимается характеристика неблагоприятных для экологических ресурсов последствий любых антропогенных изменений природной среды и факторов [3].

В тоже время в действующем законе РФ «Об охране окружающей среды» (2002) экологический риск определяется как «вероятность наступления события, имеющего неблагоприятные последствия для природной среды и вызванного негативным воздействием хозяйственной и иной деятельности, чрезвычайными ситуациями природного или техногенного характера» [1]. Как можно заметить, в этом определении отсутствует важная составляющая понятия риска, связанная с ожидаемой величиной ущерба (для природных объектов или для человека как пользователя природных ресурсов) вследствие наступления неблагоприятных событий [2]. В результате затруднен сравнительный анализ рисков от менее вероятных, но более опасных нарушений природной среды и более вероятных экологических рисков, но характеризующихся меньшими ущербами.

Важные понятия методологии риска — источник опасности, фактор опасности и объект воздействия (или реципиент). Согласно существующим представлениям риск возникает в области «пересечения» опасности с объектом воздействия рассматриваемого фактора опасности и не существует вне этого «поля» [2]. При этом большое значение имеет уязвимость реципиента, поскольку от нее зависят параметры возможного ущерба. Для антропогенных воздействий, связанных с техногенной эмиссией поллютантов в атмосферу, источник и фактор опасности — разные категории. В данном случае источник экологической опасности — это те химические соединения, которые присутствуют в выбросах промышленных и других объектов и характеризуются различной направленностью действия (экоотоксиканты, кислотообразующие соединения и др.). Но фактором экологической опасности загрязняющие вещества становятся в том случае, когда их концентрации в природных средах (атмосферном воздухе, почвах, природных водах, растительной продукции) превышают безопасные уровни, соответствующие в отечественном экологическом нормировании предельно-допустимым концентрациям (ПДК). Особенностью экологических рисков, возникающих при долговременной эксплуатации производственных объектов, является формирование множественных факторов опасности как результат вовлечения техногенных поллютантов в природные миграционные потоки и аккумуляции в природных средах вблизи или на удалении от источника эмиссии.

В основу идентификации экологических рисков положен объект воздействия — реципиент, характеризующийся той или иной степенью уязвимости к определенному виду воздействия [1]. Уязвимость биоты и биокосных систем определяется их положением (нахождением) в зоне воздействия факторов опасности, а также присущей им устойчивостью к тому или иному виду воздействий. Объектами оценки экологических рисков могут быть отдельные биологические виды, сообщества и популяции, а также экосистемы в целом, что связано с осознанием в последние годы важности экосистемных функций и экосистемного разнообразия для устойчивого развития биосферы Земли [4]. Выбор реципиентов обусловлен приоритетами природоохранной деятельности и эколого-экономической целесообразностью. Традиционно в число основных приоритетов входит экологическое благополучие населения, проживающего на той или иной территории, включая возможность эксплуатации экосистемных ресурсов в соответствии со сложившимся местным укладом землепользования (например, пастбищное оленеводство, охота, рыболовство и др.), что определяет необходимость поддержания соответствующей видовой структуры биоты. Помимо этого объектом сохранения могут быть определенные виды флоры и фауны в силу их возможного исчезновения в местах природного обитания (например, виды, занесенные в Красную книгу) или являющиеся видами-эдификаторами и

представляющими особую ресурсную ценность (ценные и ле-сообразующие породы деревьев и др.).

Многообразие факторов опасности, связанных с техногенной эмиссией поллютантов, и возможных реципиентов в соответствующих зонах воздействия определяет формирование в каждом конкретном случае, как правило, множественных экологических рисков, которые рассматриваются как частные (или парциальные) риски [1].

Управление риском в любой сфере деятельности предполагает обоснованное выделение приоритетов на основе ранжирования неблагоприятных ситуаций по степени опасности и расчет эффективности инвестиций. Ранжирование возможно для скалярных величин, имеющих единую размерность; универсальным выражением ущерба является его денежный эквивалент. К сожалению, для большинства экологических ущербов получение корректных стоимостных оценок практически не выполнимо. В качестве альтернативы для экосистем и биологических объектов используются другие скалярные или качественные показатели. В [4], предлагают определять для природных экосистем такой показатель как натуральный ущерб. Согласно определению [4] «*натуральный ущерб* для элементарного сообщества...» (например, в случае загрязнения природных сред) «...есть снижение количества вещества и энергии вследствие недо-производств на базовом трофическом уровне этого элементарного сообщества в определенный момент времени по сравнению с количеством вещества и энергии на базовом трофическом уровне в таком же элементарном сообществе на незагрязненной территории при оптимальных условиях».

При оценках рисков, связанных с развитием неблагоприятных или экстремальных природных процессов, одним из видов риска являются экономические потери, связанные с выведением из хозяйственного использования отдельных участков территории. Предлагается оценивать материальный ущерб через оценку площади территорий, пораженных в результате действия фактора опасности, относительно освоенной или общей площади того или иного региона [2]. Аналогичный подход может быть использован и в оценках экологических рисков. В качестве показателей экологических ущербов в литературе рассматриваются также снижение видового разнообразия экосистем, потеря отдельных видов биоты, ухудшение условий их обитания, ухудшение качества продукции биомассы или природных вод [1,3,5].

Еще одним важным моментом методологии риска является невозможность однозначного предсказания наступления неблагоприятного события и связанных с ним ущербов вследствие вероятностного характера понятия риска. Как следствие, для оценок экологических рисков характерна повышенная неопределенность, связанная с вероятностной природой и неполнотой наших знаний об объектах окружающей среды, механизмах их функционирования, неполнотой фактических данных и т. п.

К настоящему моменту среди специалистов сложилось понимание, что количественное определение риска должно включать оценку, основанную на сочетании вероятности (частоты) наступления неблагоприятного события и масштаба его последствий, выраженного через ущерб, характеризующий тяжесть последствий. В отношении технологических рисков в производственной сфере это закреплено в соответствующих нормативных документах [2, 3]. Для неблагоприятных ситуаций, вероятность которых высока и имеются статистические данные по их проявлению, величина риска может быть рассчитана как математическое ожидание ущерба, выраженное через произведение вероятности реализации события и величины связанного с ним ущерба. По многим категориям рисков на производственных объектах накоплена статистика, позволяющая выполнять подобные расчеты «реальных» рисков в отличие от «потенциальных» рисков, оцениваемых на основе использования неких математических моделей, что особенно характерно для техногенных воздействий на окружающую среду [1].

В США и европейских странах разработан ряд директивных документов, в которых отражены основные положения и возможные алгоритмы оценки экологических рисков [2, 5]. К сожалению, в Кыргызстане аналогичные регламентирующие и нормативно-методические документы практически отсутствуют. Обзор литературы показывает, что существующие в настоящий момент методы оценки экологических рисков могут быть сведены к нескольким основным вариантам.

В рамках объективной концепции, применяемой обычно в гуманитарных науках, риск может рассматриваться с помощью качественных категорий [2]. Используя экспертные знания и сформулировав возможные сценарии развития экологических ситуаций при известном антропогенном воздействии, оценку риска можно свести к построению логических схем в виде дендрограмм — аналогов «дерева событий», используемых в практике анализа техногенных чрезвычайных ситуаций [1]. Для каждого события дается его характеристика на основе описания возможных эффектов и последствий и выполняется, например, балльное ранжирование по степени значимости экологических последствий (ущербов). Также экспертно может быть ранжирована вероятность наступления рассматриваемых неблагоприятных событий: реальное, вероятное, маловероятное, невероятное [1]. Для большого числа экологических ситуаций в настоящее время такой метод оценки — единственно возможный. Он же, как правило, используется и как предварительный (начальный) этап при количественных оценках рисков [2,5].

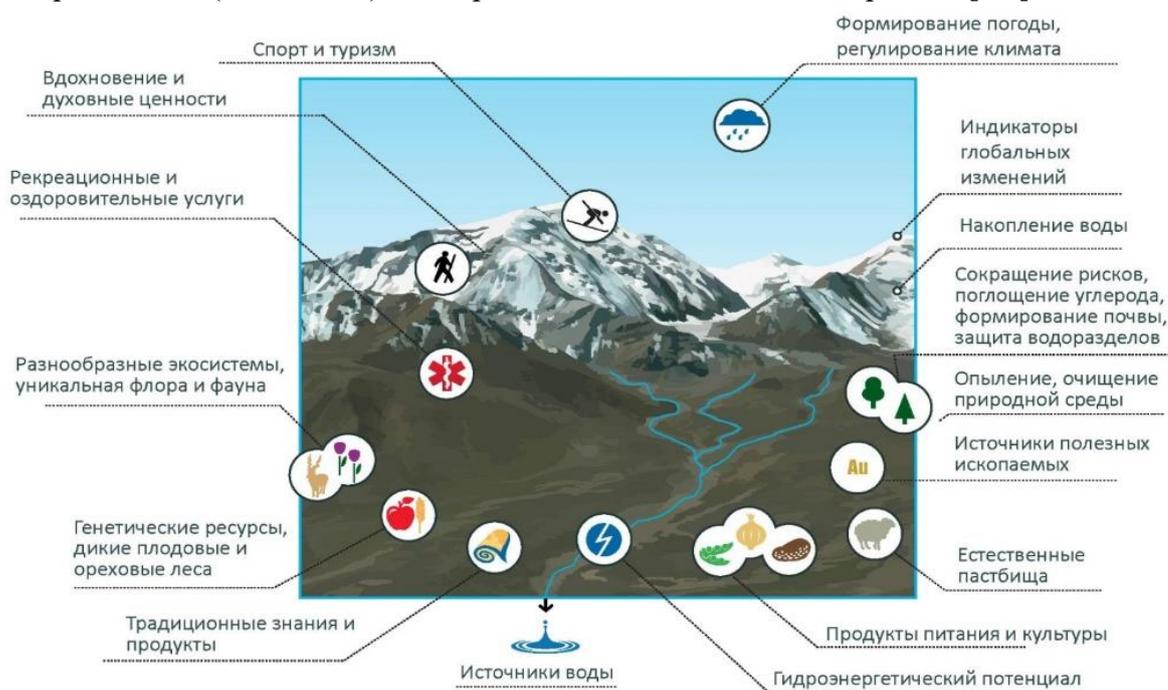


Рис. 2. Схема природных, экологических и антропогенных рисков

Если сценарий развития экологической ситуации задан, то риск есть функция двух переменных — частоты и последствий нежелательного события, что может быть математически формализовано в следующем виде.

$$R(H) = P(H) \cdot Dm, \quad (1)$$

где:  $R(H)$  — риск, связанный с наступлением опасного события;  $P(H)$  — вероятность наступления опасного события;  $Dm$  — материальный ущерб от его последствий.

В зависимости от вида и специфики экологической опасности могут быть

использованы различные варианты дальнейшего преобразования (1).

Для экологических событий, относительно легко предсказуемых или с известной вероятностью, основную сложность будет представлять определение параметров ущерба, выраженных в скалярных величинах. В случае, когда последствия антропогенных воздействий проявляются в невозможности дальнейшего хозяйственного использования отдельных участков той или иной территории, для количественной характеристики рисков может быть использован подход, достаточно часто реализуемый при оценках рисков от неблагоприятных природных явлений [2, 5]. Объектом опасности в данном случае является используемая в хозяйственной деятельности часть территории пространственного таксона (административного района, области, региона).

Пусть общая площадь рассматриваемого таксона равна  $S_i$ . Если в пределах этого таксона периодически возникает опасность  $H$ , каждый раз поражающая площадь  $S_H$ , то экологический ущерб, представленный в виде доли земель (пораженной при единичном проявлении опасности  $H$ ) от суммарной площади таксона, может быть определен по (2).

$$Dm(H) = S_H \cdot (S_i)^{-1}. \quad (2)$$

Если вероятность наступления опасного события в условную единицу времени равна  $P(H)$ , то соответствующий риск потерь земельных угодий  $R_m(H)$ , выраженный как безразмерная величина, будет составлять

$$R_m(H) = P(H) \cdot Dm(H) = P(H) \cdot S_H \cdot (S_i)^{-1}. \quad (3)$$

Приняв общую площадь рассматриваемого административного таксона ( $S$ ) за 100% и выразив вероятность события ( $P(H)$ ) как число случаев опасного события в год, суммарный годовой риск можно охарактеризовать через такой показатель, как «удельный риск поражения территории» [2]. При этом в каждом случае необходимо уточнение, в чем конкретно заключаются последствия нарушений. Удельный риск поражения территории представляется перспективным показателем для картографирования и сравнительной оценки экологических рисков при планировании размещения хозяйственных объектов в различных регионах страны, в том числе при отсутствии достоверной информации о стоимости природных объектов. При наличии монетарных оценок стоимости земель и их экосистемных ресурсов он позволяет перейти к денежному выражению экологических рисков. Аналогичный метод оценки, по-видимому, может быть использован для оценки удельных рисков потерь в отношении некоторых популяций биоты (например, редких пород деревьев или крупных хищников, имеющих конкретные ареалы распространения).

В ряде зарубежных работ [1], когда ранжированию или нормированию подлежат именно последствия экологической опасности, предлагается дополнять общий показатель риска набором производных от него показателей, которые вводятся, чтобы оценить риск для конкретных реципиентов. В этом случае риск может быть рассчитан на основе коэффициента опасности (уравнение 4).

$$R_{rec}(H) = K(H) \cdot V_{rec} \cdot T(Exp), \quad (4)$$

где:  $R_{rec}(H)$  — риск для реципиента,  $K(H)$  — коэффициент или индекс опасности,  $V_{rec}$  — уязвимость реципиента (может быть рассчитана по аналогии с (2) как доля от общей численности популяции),  $T(Exp)$  — время экспозиции за условную единицу времени.

Для событий, характеризующихся малой статистикой, [1,2], риск может быть

охарактеризован двумя самостоятельными компонентами: вероятностью и ущербом. При этом расчет вероятности возникновения экологических нарушений выполняется,

как правило, на основе модельных оценок, а ущербы могут иметь как количественное, так и качественное выражение.

В ряде частных случаев, когда следствие может быть охарактеризовано на уровне «Есть/Нет», риск — это функция одной переменной, а именно, частоты нежелательного события [1]. Этот подход согласуется с определением экологического риска из [1] и наиболее широко используется при оценках экологических рисков в связи с антропогенным загрязнением окружающей среды [3, 4].

Выше отмечалось, что экологическая опасность воздействия опасных химических соединений на те или иные группы реципиентов возникает, когда в окружающей среде превышены пороговые уровни этих токсикантов, что в долговременной перспективе сопровождается нарушением функционального состояния живых организмов [1,5]. Считается также, что на экосистемном уровне чувствительность экосистем к тем или иным воздействиям определяется устойчивостью наиболее чувствительных видов, и, сохраняя видовую структуру экосистем (их видовое разнообразие), мы сохраняем и основные функции экосистем [5]. Из этого следует, что, рассчитав для наиболее чувствительных видов биоты вероятность превышений допустимых воздействий поллютантов в отношении возникновения тех или иных экологических эффектов, мы получим определенную характеристику риска в отношении конкретного фактора опасности и конкретного реципиента. Математически это может быть записано в следующем виде.

$$R(Exp) = P(Ex(RfD) > 0), \quad (5)$$

где:  $R(Exp)$  — экологический риск для экосистем (или их биотических компонентов), связанный с воздействием (экспонированием) конкретного фактора опасности и проявляющийся в конкретных экологических эффектах;  $P(Ex(RfD))$  — вероятность превышений допустимого уровня воздействия, определяемого как референтная доза.

Определение экологически безопасных воздействующих доз ( $RfD$ ) различных поллютантов для конкретных биологических видов является самостоятельным разделом экологических исследований (лабораторно-экспериментальных или мониторинговых). В рамках анализа риска, как правило, используют уже имеющиеся литературные или справочные данные [5,6].

Остановимся чуть подробнее на методах оценки показателей, характеризующих допустимый уровень воздействия техногенных соединений на экосистемы. В этом случае в качестве экосистемных  $RfD$  используют так называемые критические нагрузки (КН). Согласно определению [4] величина КН соответствует максимальному уровню поступления поллютантов в экосистему, которое не сопровождается необратимыми изменениями в ее структуре и функциях.

В основе количественного определения КН лежит определение потенциала устойчивости природно-территориальных комплексов к воздействию загрязняющих веществ за счет естественных процессов их нейтрализации, иммобилизации и удаления из экосистем. Расчеты КН (как один из этапов оценки экологических рисков) выполняются с использованием биогеохимических моделей массбаланса, отражающих процессы миграции и трансформации поллютантов в системе «источник эмиссии — воздушная среда — атмосферные выпадения — растительный покров — почва — природные воды» [1].

Анализ экологических рисков, как известно, направлен на минимизацию и предупреждение опасных экологических последствий, связанных с воздействием хозяйственной деятельности человека на состояние и качество окружающей среды.

Поскольку параметры риска являются сочетанием вероятности и последствий неблагоприятных событий [2-6], то минимизация показателей риска возможна за счет уменьшения вероятности наступления нежелательных событий и/или посредством сокращения ущерба от этих событий. Из этого логично предположить, что в случае когда количественная оценка экологических ущербов затруднена в силу многих причин (включая необходимость прогнозирования отсроченных эффектов), реальным механизмом управления риском будет снижение вероятности наступления неблагоприятных событий с учетом эколого-экономической целесообразности хозяйственной деятельности в условиях конкретных регионов.

Приведенный пример совместного использования методологий риска и критических нагрузок показывает перспективность данного подхода для решения практических задач, возникающих в рамках обеспечения экологической и природоохранной деятельности предприятий и соответствующих региональных административных структур. В частности, рассмотренный подход предоставляет возможности для управления экологическими рисками планируемой хозяйственной деятельности на основе регулирования интенсивности эмиссии загрязнителей за счет:

- выбора мест расположения источников эмиссии на территориях с большим потенциалом устойчивости к данному виду воздействий, т. е. с более высокими параметрами соответствующих КН.
- корректирования уровней эмиссии с целью
  - минимизации интенсивности превышений КН до уровня приемлемых рисков;
  - минимизации пространственных размеров зон превышений КН (например, за счет высоты источника эмиссии) и снижения таким образом территориальных показателей рисков;
  - минимизации превышений КН с учетом возможных краткосрочных или долговременных процессов трансформации загрязнителей в окружающей среде.

#### Литература:

1. Presidential/Congressional Commission on Risk Assessment and Risk Management (1997) Framework for environmental health risk management. Final Report 1. The Presidential /Congressional Commission on Risk Assessment and Risk Management, Washington (**Ошибка! Недопустимый объект гиперссылки.**[www.riskworld.com](http://www.riskworld.com)).
2. Тыныбеков А.К. Natural and ecological risks of the Kyrgyz Republic, KRSU, Bishkek, 2012.
3. Тыныбеков, 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.
4. Тыныбеков А.К. Оценка природного и экологического риска //Технологии гражданской безопасности Изд-во: Всероссийский научно-исследовательский институт по проблемам гражданской обороны и чрезвычайных ситуаций МЧС России (Москва) ISSN: 1996-8493. - 2013. - №4 (38). - С. 72-77
5. Тыныбеков А.К., Азаматов Н.А. Риски туризма. Туризм и рекреация: фундаментальные и прикладные исследования. Труды VI международной научно-практической конференции. МГУ имени М.В. Ломоносова, географический факультет, - Москва, 2015.
6. Тыныбеков А.К. Risks Assessment of the Natural Disasters, Floods and avalanches ecology in Kyrgyz Republic, Труды Международной научной конференции “Рахматулинские чтения”, -Бишкек, 2015, -с. 36-42.