

DOI: 10.24000/0409-2961-2022-5-81-89

УДК 331.43

© С.С. Кудрявцев, П.В. Емелин, Н.К. Емелина, 2022

# Методика оценки риска для окружающей среды от чрезвычайных ситуаций на химически опасных объектах



**С.С. Кудрявцев,**  
канд. биол. наук,  
доцент



**П.В. Емелин,**  
д-р техн. наук, зам.  
директора



**Н.К. Емелина,**  
канд. экон.  
наук, доцент, ст.  
преподаватель,  
yemelina\_n@mail.ru

НАО «КарТУ им.  
Абылкаса Сагинова»,  
Караганда,  
Республика Казахстан

ТОО «НАКС  
ГАЦ», Караганда,  
Республика  
Казахстан

НИУ ВШЭ, Москва,  
Россия

Экологический риск химически опасного объекта рассматривается как сочетание показателей экологической опасности химически опасного объекта и уязвимости от него окружающей среды. Первый показатель определяется критериальными параметрами, объединенными в три кластера: физико-химические, экотоксикологические свойства аварийно химически опасного вещества и его количество; технологическое оборудование; персонал. Второй показатель вычисляется дифференцированно с учетом того, что экологический риск определяется для объекта, находящегося на суше или в водной среде. После количественного определения показателей с помощью матрицы возможно как определить уровень экологического риска для отдельного участка, так и провести зонирование всей территории вокруг химически опасного объекта.

**Ключевые слова:** химически опасный объект, аварийно химически опасное вещество, оценка риска, экологический риск, химическая безопасность, экологическая безопасность, промышленная безопасность.

**Для цитирования:** Кудрявцев С.С., Емелин П.В., Емелина Н.К. Методика оценки риска для окружающей среды от чрезвычайных ситуаций на химически опасных объектах// Безопасность труда в промышленности. — 2022. — № 5. — С. 81–89. DOI: 10.24000/0409-2961-2022-5-81-89

## Введение

Действующие международные стандарты системы управления охраной окружающей среды среди мероприятий, направленных на сохранение окружающей среды, рассматривают оценку экологического риска как одно из важнейших [1]. «Исследование устой-

чивости экосистем к антропогенному воздействию и разработка научных основ определения экологических рисков» [2] определены как приоритетные направления экологических научных исследований. Там же [2] описан порядок оценки экологических рисков аудируемого субъекта. Вместе с этим в нормативно-правовой базе экологического законодательства Республики Казахстан (РК) методики, позволяющие определить экологические риски от возможных техногенных чрезвычайных ситуаций (ЧС) на химически опасных объектах (ХОО), до настоящего времени отсутствуют, что делает проведенное авторским коллективом исследование весьма актуальным. Весь спектр параметров, характеризующих уровень экологического риска, представленных в методике, является универсальным, в результате чего использование разработанной методики не ограничивается территорией какого-либо государства.

Разрабатываемые и принятые в РК нормативные документы в области химической безопасности основываются на научных разработках, проведенных еще в бывш. СССР. С сожалением приходится констатировать, что, несмотря на значимость для того времени результатов этих исследований, мировой опыт с тех пор получил значительное развитие.

Директива [3] определяет наименования опасных веществ и указывает их минимальные количества применительно к требованиям низшего и высшего уровней опасностей для предприятий. Эта же директива выделяет два уровня опасности предприятий в зависимости от количества аварийно химически опасных веществ (АХОВ), имеющихся на них: «предприятие низшего уровня опасности» и «предприятие высшего уровня опасности».

В то же время в РК отсутствуют нормативные документы, позволяющие идентифицировать ХОО. Чаще используется более широкое понятие — «опасный производственный объект», определение которого закреплено в ст. 70 Закона РК «О гражданской защите» [4] и в Правилах идентификации опасных производственных объектов [5].

До настоящего времени единый механизм прогнозирования экологических последствий химических аварий еще не разработан. На этом фоне представляется возможным прогнозирование химических аварий на основе риска.

Проведенный анализ научных работ показал, что исследуемая проблема изучалась фрагментарно. За последнее десятилетие опубликовано достаточно

много статей, разработан ряд методик, в которых по отдельности рассматривались физико-химические [6, 7] и экотоксикологические [8] свойства вредных веществ, уязвимость окружающей среды [9, 10], причины аварий на химических предприятиях и факторы, влияющие на аварийность [11]. Однако использование их в оригинальном виде не позволит провести объективный и всеобъемлющий анализ риска для окружающей среды, поскольку те или иные его аспекты останутся неизученными.

С учетом ряда особенностей проводимого исследования представляется целесообразным использование данного методологического подхода для оценки риска воздействия на окружающую среду. Более того, это позволит провести анализ экологического риска аварийного выброса АХОВ комплексно — с точки зрения химической, экологической и промышленной безопасности.

Целью работы является разработка методики многофакторной оценки риска для окружающей среды от техногенных ЧС на ХОО.

#### Материалы и методы

В представленной методике рассматривается ЧС мирного времени, происшедшая по наиболее пессимистическому сценарию [12]. Этот сценарий подразумевает полное разрушение наибольшего по объему полностью заполненного АХОВ резервуара, приведшее к полной утечке АХОВ [13], что является наиболее губительным для окружающей среды последствием.

До настоящего времени в РК ведется учет аварий на предприятиях, приведших исключительно к травмам средней тяжести, тяжелым травмам и гибели персонала. Подобные ЧС не всегда связаны с вредом, причиненным окружающей среде, при этом аварии, причинившие или способные причинить вред окружающей среде, могут быть не зафиксированы в статистических данных уполномоченных органов. Это создает значительные трудности в определении апостериорного риска аварий на ХОО. В этой связи отсутствие объективной базы данных об аварийности наряду с множеством несопоставимых факторов, определяющих частоту и тяжесть экологических последствий и уязвимость окружающей среды, делает актуальным использование в рассматриваемой методике метода экспертных оценок.

Оценка экологического риска для окружающей среды от ЧС техногенного характера на ХОО включает три этапа:

- предварительные исследования;
- сбор и формирование базы данных исходной информации;
- оценка экологического риска.

Цель предварительного этапа исследования — определение критериальных параметров по двум компонентам риска: показателю экологической опасности ХОО и показателю уязвимости окружающей среды от ХОО.

Показатель экологической опасности ХОО является количественно измеренной по установленным критериям вероятностью того, что авария произойдет.

Показатель экологической уязвимости ХОО характеризует степень экологической незащищенности окружающей среды при воздействии поражающего фактора в результате техногенных ЧС.

Для выполнения первого этапа применен метод экспертных оценок. Суть данного метода заключается в организованном сборе суждений и предположений экспертов с последующей обработкой полученных ответов и формированием результатов. Исследовательской группой определены предметная область и цель экспертного исследования. Целью экспертного опроса являлось определение перечня критериальных параметров, степени их влияния и значимости их значений для оценки экологических последствий ЧС техногенного характера на ХОО.

С помощью результатов экспертной оценки рассчитаны весовые коэффициенты для каждого из критериальных параметров:

$$w_j = \frac{\overline{g_j}}{\sum_{j=1}^n g_j}, \quad (1)$$

где  $w_j$  — удельный вес  $j$ -го критериального параметра;  $\overline{g_j}$  — средний арифметический балл оценки экспертами  $j$ -го параметра;  $n$  — число критериальных параметров.

Полученные весовые коэффициенты критериальных параметров далее использованы для разработки многофакторных зависимостей по расчету показателей экологической опасности ХОО и уязвимости окружающей среды от ХОО, а также экологического риска. В табл. 1 представлены кластеры, описывающие показатель опасности ХОО для окружающей среды, в табл. 2 — кластеры, описывающие показатель уязвимости водной среды от ХОО.

При подборе экспертов сформирован базовый список кандидатов, затем предварительный и окончательный. Формирование базового списка кандидатов в состав экспертной группы проводилось по классическому методу «снежного кома» [9]. В итоговый список экспертов вошли 27 высококвалифицированных специалистов в области промышленной, химической, экологической безопасности со средним стажем работы в данной области 14,5 лет.

По данным пунктам каждый эксперт разрабатывает кластеры и перечень критериальных параметров, входящих в них, а также их возможные значения.

На основе кластеров и перечней критериальных параметров, входящих в них, и их возможных значений, предоставленных экспертами, исследова-

Таблица 1

Наименование кластера и критериальных параметров	Значение весового коэффициента
Кластер критериальных параметров физико-химических, токсикологических свойств и количества АХОВ:	
летучесть (давление пара)	0,050
плотность АХОВ	0,040
растворимость в воде	0,050
постоянство (BIOWIN <sub>3</sub> период полураспада)	0,050
биоаккумуляция	0,060
острая токсичность	0,120
хроническая токсичность	0,060
объем хранения	0,170
Итого по кластеру	0,600
Кластер критериальных параметров применяемого на промышленном предприятии оборудования:	
длина систем трубопроводов, транспортирующих АХОВ	0,037
коэффициент износа основных фондов	0,035
коэффициент замены основных средств	0,025
производительность насосов (компрессоров)	0,030
число резервуаров для хранения АХОВ на объекте	0,033
наличие автоматических запорных клапанов	0,040
наличие средств локализации	0,030
Итого по кластеру	0,230
Кластер критериальных параметров работающего на промышленном предприятии персонала:	
количество работников ХОО, прошедших обучение по курсу «Промышленная безопасность на опасных производственных объектах» (повышение квалификации за отчетный период), %	0,070
проведение организационных мероприятий, направленных на безаварийное функционирование производства	0,100
Итого по кластеру	0,170
Суммарный вес трех кластеров	1,000

Таблица 2

Критериальный параметр	Значение весового коэффициента
Расстояние до рассматриваемой скважины, озера или водотока	0,40
Глубина до поверхности подземных вод	0,15
Уклон поверхности подземных вод и направление потока	0,10
Степень водопроницаемости грунта	0,15
Назначение водоема	0,20
Суммарный вес по пяти критериальным параметрам	1,00

тельской группой составлен единый перечень для итоговых опросных анкет.

При помощи итоговых опросных анкет проводится сбор информации о степени влияния и проявлении каждого критериального параметра для определения показателей опасности и уязвимости в

целях прогнозирования экологических последствий ЧС на ХОО.

Для проведения анкетирования применяется система балльных оценок в виде универсальной лингвистической шкалы. С помощью шкалы возможно унифицировать как качественные, так и количественные исходные данные.

На данном этапе эксперты, опираясь на собственный опыт, пользуясь шкалой баллов от 0 до 9, оценивали критериальные параметры по степени их влияния на экологические последствия ЧС на ХОО в целях дальнейшего определения удельных весов каждого критериального параметра для расчета соответствующих показателей (экологическая опасность ХОО, уязвимость окружающей среды). Отсутствие влияния критериального параметра соответствует оценке «0». Максимальное влияние критериального параметра соответствует оценке, равной «9».

После этого исследовательской группой проведены статистический анализ и обработка экспертных оценок в целях определения степени согласованности мнений экспертов, установления итоговых балльных оценок. В результате определены весовые коэффициенты параметров и установлены окончательные оценки для всех допустимых значений критериальных параметров.

Второй этап оценки экологического риска ХОО включал сбор и формирование базы данных исходной информации на основании проведения анкетного опроса промышленных предприятий по показателю экологической опасности ХОО и заполнения анкет по данным специализированных организаций и информационных карт по показателю уязвимости окружающей среды от ХОО.

На третьем этапе информация, получаемая в результате анкетного опроса, а также разработанные формулы для оценки показателей экологической опасности ХОО и уязвимости окружающей среды от ХОО позволяют

оценивать риск экологических последствий в результате ЧС на ХОО для конкретного *i*-го участка окружающей среды. Проведенный расчет для множества *i*-х участков окружающей среды вокруг предприятия позволяет построить карты зонирования экологических рисков. Данные карты являются основой для

анализа и оценки экологической ситуации на ХОО, разработки мероприятий и рекомендаций, направленных на снижение экологического риска.

Результаты исследований, анализа литературных источников, нормативно-технической документации, регулирующей деятельность опасных производственных объектов в области промышленной и экологической безопасности, позволили систематизировать и разработать опросные анкеты для предприятий с ХОО, расположенных на территории Карагандинской обл. Опросные анкеты разрабатывались по двум основным направлениям: определение показателя экологической опасности ХОО и определение показателя уязвимости окружающей среды от ХОО.

*Показатель опасности ХОО.* Он определяется суммарным влиянием факторов, объединенных в три кластера: кластер критериальных параметров физико-химических, токсикологических свойств и количества химически опасных веществ; кластер критериальных параметров применяемого на промышленном предприятии оборудования; кластер критериальных параметров работающего на промышленном предприятии персонала. В табл. 1, в качестве примера, показано распределение весовых коэффициентов этих кластеров для случая, когда проводится оценка экологического риска от ХОО для водной среды.

*Кластер критериальных параметров физико-химических, токсикологических свойств и количества АХОВ.* Тяжесть экологических последствий в первую очередь связана с химическими веществами, находящимися на ХОО, их количеством, физико-химическими и токсикологическими свойствами. При создании методики за основу взяты физико-химические и экотоксикологические свойства АХОВ, рассмотренные в работах [6, 7], в которых авторы изучали экологический риск в случаях аварий на морском и сухопутном транспорте, упростив характеристики АХОВ, приведенные в руководстве ЕРА-748-B12-001 [8], до трех количественных выражений.

Для более удобной и объективной работы в методике большинство дескрипторов получило пять количественных выражений, что позволяет сделать оценку опасности ХОО более развернутой. Для определения значений физико-химических и экотоксикологических свойств АХОВ авторами использовались данные сайтов Европейского химического агентства<sup>1</sup> и Национального института здоровья США<sup>2</sup>. В случае отсутствия фактических сведений о полураспаде отдельных АХОВ использовались результаты экспертной оценки B1OWIN<sub>3</sub> (Агентство по защите окружающей среды США<sup>3</sup>).

<sup>1</sup> URL: <https://www.echa.europa.eu/> (дата обращения: 07.06.2021).

<sup>2</sup> URL: <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/> (дата обращения: 07.06.2021).

<sup>3</sup> URL: <https://epa.gov/> (дата обращения: 07.06.2021).

Также в методике авторов используется дескриптор количества АХОВ, находящихся в обороте на ХОО. Его количественное выражение определяется в соответствии с ч. II приложения I [3]. Данное руководство устанавливает количество АХОВ, соответствующее низшему и высшему уровням опасности в зависимости от его свойств.

Как показал анализ литературных данных [6, 7], критериальные параметры, описывающие экологические риски аварий с выбросом АХОВ в почву, имеют некоторые отличия от таковых для водной среды. В связи с этим в предложенной методике данные случаи рассматриваются по отдельности.

*Кластер критериальных параметров применяемого на промышленном предприятии оборудования.* В табл. 1 представлены дескрипторы, входящие в кластер применяемого на ХОО оборудования, и значения их весовых коэффициентов:

коэффициент износа основных фондов определяется по формуле:

$$K_{и} = n_1/n_2, \quad (2)$$

где  $n_1$  — число технических устройств, отработавших установленный срок эксплуатации, по итогам года;  $n_2$  — число технических устройств, состоящих на учете в качестве основных средств, по итогам года;

коэффициент замены основных средств определяется по формуле:

$$K_{о} = n_3/n_1, \quad (3)$$

где  $n_3$  — число технических устройств, отработавших установленный срок эксплуатации и замененных в течение отчетного года.

Если число технических устройств, отработавших установленный срок эксплуатации, по итогам года равно нулю,  $K_{о}$  принимается равным нулю.

Наличие автоматических запорных клапанов определяется как совокупность возможных вариантов их наличия и расположения на оборудовании и трубопроводах.

Наличие средств локализации определяется как совокупность возможных вариантов и их сочетаний: физические барьеры (поддоны), специальная канализация, реактивы для нейтрализации, технологическая возможность аварийного сброса. Если производственным процессом какое-либо из перечисленных средств не предусмотрено (обусловлено физико-химическими свойствами АХОВ или возможностью ухудшения обстановки), то по умолчанию данное средство локализации считается условно в наличии.

*Кластер критериальных параметров работающего на ХОО персонала.* В табл. 1 представлены дескрипторы, входящие в кластер работающего на предприятии персонала, и их весовые коэффициенты. Организационные мероприятия, на-

правленные на безаварийное функционирование производства, характеризуются наличием и частотой пересмотра инструкций и схем, качеством профилактических работ и ремонта оборудования, наличием средств автоматического контроля и мониторинга технологического процесса, графиком трудового процесса.

*Показатель уязвимости окружающей среды от ХОО.* В работе [9] среди ряда дескрипторов уязвимости окружающей среды рассматриваются расстояние до водного объекта, глубина подземных вод, уклон земной поверхности и характеристики грунта. При этом не имеет значения тот факт, находится ли объект окружающей среды на суше (почва) или это водный объект. По мнению авторов, это все-таки имеет значение при определении показателя уязвимости окружающей среды. В табл. 2 в качестве примера приведены дескрипторы, описывающие показатель уязвимости водной среды от ХОО.

Использование типа грунта в качестве критериального параметра не вполне оправданно. Дело в том, что фактически грунт не всегда является однородным, часто толща грунта образована слоями, имеющими разную водопроницаемость. В этой связи более уместным будет использование в качестве дескриптора степени водопроницаемости грунта, о которой можно судить по коэффициенту фильтрации.

Для сбора и анализа исходных данных (топография поверхности, гидрогеологические параметры и др.) необходимо использовать соответствующие карты. В случае отсутствия сведений о гидрогеологии и характеристиках грунта применяются данные, полученные для ближайших к исследуемому объекту точек. Объединение карт различных физиографических атрибутов позволяет создать карты уязвимости исследуемого района.

*Критериальные параметры для оценки уязвимости окружающей среды от ХОО.* Выделим следующие критериальные параметры:

расстояние до рассматриваемого объекта. Чем ближе находится оцениваемая точка к рассматриваемому земельному участку или водотоку, тем выше шанс попадания загрязнителей в поверхностные воды и их транспортировки на значительные расстояния;

глубина до поверхности подземных вод. Чем выше уровень грунтовых вод, тем активнее они будут влиять на гидродинамические показатели изучаемого объекта;

уклон поверхности подземных вод и направление потока. Данный параметр в целом определяет миграционные способности загрязнителей. С усилением уклона более активно станут протекать и различные склоновые процессы, что может существенно влиять на результаты экологического воздействия;

степень водопроницаемости грунта. Согласно [14] грунт по степени водопроницаемости подра-

зделяется на пять категорий: неводопроницаемый, слабоводопроницаемый, водопроницаемый, сильноводопроницаемый, очень сильноводопроницаемый. С ростом данного показателя увеличивается опасность химического загрязнения грунтовых вод, имеющих непосредственную связь с водным объектом (скважина, озеро или водоток). Чем выше этот показатель, тем активнее происходит перемещение загрязнителей;

назначение водоема. Исходя из текущей ситуации и планов развития водопользования, назначение исследуемых территорий представляется в следующем виде: питьевое, водохозяйственное, культурно-бытовое, природные водно-болотные угодья и другие типы. Уязвимость объекта будет определяться в соответствии с масштабом защитных мероприятий [10].

### Оценка экологического риска химически опасного объекта

Под экологическим риском ХОО понимается сочетание двух составляющих риска. В качестве первой составляющей принят показатель экологической опасности ХОО, который является количественно измеренной по установленным критериям вероятностью того, что авария произойдет. Второй составляющей является показатель уязвимости окружающей среды от ХОО, который характеризуется степенью незащищенности окружающей среды при воздействии поражающего фактора в результате техногенных ЧС.

Оценка экологического риска ХОО проводится по следующим этапам:

определение и оценка показателя экологической опасности для наиболее опасного для окружающей среды сценария развития ЧС на ХОО;

определение и оценка показателя уязвимости окружающей среды для наиболее опасного для окружающей среды сценария развития ЧС на ХОО;

определение экологического риска от ХОО для  $i$ -го земельного участка (почвы), объекта или водной среды.

### Расчет и оценка показателя экологической опасности ХОО

На основании данных о степени влияния множества критериальных параметров  $\{n\}$  и значимости их значений определяется показатель экологической опасности ХОО для  $i$ -го земельного участка (почвы), объекта или водной среды:

$$ПЭО_i = \sum_{k=1}^3 \sum_{j=1}^n w_j f_j, \quad (4)$$

где  $n$  — число критериальных параметров по  $k$ -му кластеру показателя экологической опасности ХОО;  $f_j$  — оценка значимости значения критериального параметра.

Показатель экологической опасности ХОО для  $i$ -го земельного участка (почвы), объекта или водной среды будет определяться как

$$\begin{aligned}
 \text{ПЭО}_i = & [0,05(f_{11} + f_{13} + f_{14}) + 0,04f_{12} + \\
 & + 0,06(f_{15} + f_{17}) + 0,12f_{16} + 0,17f_{18}] + \\
 & + [0,037f_{21} + 0,035f_{22} + 0,025f_{23} + \\
 & + 0,03(f_{24} + f_{27}) + 0,033f_{25} + 0,04f_{26}] + \\
 & + (0,07f_{31} + 0,1f_{32}), \quad (5)
 \end{aligned}$$

где по кластеру критериальных параметров физико-химических, токсикологических свойств ХОО для водной среды:  $f_{11}$  — оценка значимости летучести (давление пара), кПа;  $f_{12}$  — оценка значимости плотности АХОВ, г/см<sup>3</sup>;  $f_{13}$  — оценка значимости растворимости в воде, мг/л;  $f_{14}$  — оценка значимости постоянства (B1OWIN<sub>3</sub> период полураспада);  $f_{15}$  — оценка значимости биоаккумуляции ( $\log K_{ow}$ );  $f_{16}$  — оценка значимости острой токсичности (LC/EC50), мг/л;  $f_{17}$  — оценка значимости хронической токсичности (NOEC), мг/л;  $f_{18}$  — оценка значимости объема хранения, т; по кластеру критериальных параметров применяемого на ХОО оборудования:  $f_{21}$  — оценка значимости длины систем трубопроводов, транспортирующих АХОВ, м;  $f_{22}$  — оценка значимости коэффициента износа основных фондов, доли;  $f_{23}$  — оценка значимости коэффициента замены основных средств, доли;  $f_{24}$  — оценка значимости производительности насосов (компрессоров), м<sup>3</sup>/ч;  $f_{25}$  — оценка значимости числа резервуаров для хранения АХОВ на объекте;  $f_{26}$  — оценка значимости наличия автоматических запорных клапанов;  $f_{27}$  — оценка значимости наличия средств локализации; по кластеру критериальных параметров работающего на ХОО персонала:  $f_{31}$  — оценка значимости количества работников ХОО, прошедших обучение по курсу «Промышленная безопасность на опасных производственных объектах» (повышение квалификации за отчетный период), %;  $f_{32}$  — оценка значимости проведения организационных мероприятий, направленных на безаварийное функционирование производства.

Рассчитанные значения показателей экологической опасности ХОО по формуле (5) соответствуют определенной степени экологической опасности ХОО. Шкала для определения степени экологической опасности ХОО представлена в табл. 3.

**Расчет и оценка показателя уязвимости окружающей среды от ХОО**

На основании данных о степени влияния множества критериальных параметров  $\{m\}$  и значимости их значений определяется показатель уязвимости окружающей среды от ХОО для  $i$ -го земельного участка (почвы), объекта или водной среды:

$$\text{ПУ}_i = \sum_{j=1}^m a_j y_j, \quad (6)$$

Таблица 3

Интервалы показателя экологической опасности ХОО	Степень экологической опасности ХОО
$\text{ПЭО}_i = 0$	Отсутствует
$0 < \text{ПЭО}_i \leq 2$	Слабая
$2 < \text{ПЭО}_i \leq 3$	Умеренная
$3 < \text{ПЭО}_i \leq 4$	Значительная
$4 < \text{ПЭО}_i \leq 5$	Сильная

где  $m$  — число критериальных параметров, образующих кластер по оценке показателя уязвимости окружающей среды от ХОО;  $a_j$  — удельный вес  $j$ -го критериального параметра уязвимости;  $y_j$  — балльная оценка значимости значения критериального параметра уязвимости.

Показатель уязвимости окружающей среды от ХОО для  $i$ -й водной среды будет определяться как

$$\begin{aligned}
 \text{ПУ}_i = & 0,4y_1 + 0,15y_2 + 0,1y_3 + \\
 & + 0,15y_4 + 0,2y_5, \quad (7)
 \end{aligned}$$

где по кластеру критериальных параметров, описывающих показатель уязвимости окружающей среды от ХОО для водной среды:  $y_1$  — оценка значимости расстояния до рассматриваемой скважины, озера или водотока, м;  $y_2$  — оценка значимости глубины до поверхности подземных вод, м;  $y_3$  — оценка значимости уклона поверхности подземных вод и направление потока;  $y_4$  — оценка значимости степени водопроницаемости грунта, м/сут;  $y_5$  — оценка значимости назначения водоема.

Показателю уязвимости, рассчитанному по (6), соответствует степень уязвимости окружающей среды от ХОО для  $i$ -го земельного участка (почвы), объекта или водной среды. Шкала для оценки степени уязвимости окружающей среды от ХОО приведена в табл. 4.

Таблица 4

Интервалы показателя уязвимости окружающей среды от ХОО для $i$ -го земельного участка (почвы), объекта или водной среды	Степень уязвимости окружающей среды от ХОО для $i$ -го земельного участка (почвы), объекта или водной среды
$\text{ПУ}_i = 0$	Отсутствует
$0 < \text{ПУ}_i \leq 2$	Низкая
$2 < \text{ПУ}_i \leq 4$	Средняя
$4 < \text{ПУ}_i \leq 6$	Значительная
$6 < \text{ПУ}_i$	Высокая

**Определение риска экологических последствий в результате чрезвычайной ситуации на химически опасном объекте**

Определение риска экологических последствий в результате ЧС на ХОО проводится по различным сочетаниям составляющих риска: показателя экологической опасности по всем возможным видам

аварий на ХОО, показателя уязвимости окружающей среды по всем возможным видам аварий на ХОО.

Для удобства процедуры оценивания риска применяют матрицы (см. рисунок), в которых выделено и обозначено цветом пять уровней риска: незначительный, малый, умеренный, повышенный и критический. По рассчитанным показателям экологической опасности и уязвимости и данным (см. рисунок) определяется риск экологических последствий в результате ЧС на ХОО для  $i$ -го земельного участка (почвы), объекта или водной среды. В качестве общего риска аварий выбирается наиболее высокий из всех полученных для каждого вида аварии.

Показатель опасности	Показатель уязвимости				
	0	$0 < ПУ_i \leq 2$	$2 < ПУ_i \leq 4$	$4 < ПУ_i \leq 6$	Более 6
0	Отсутствует	Отсутствует	Отсутствует	Отсутствует	Отсутствует
$0 < ПЭО_i \leq 2$	Отсутствует	Незначительный	Малый	Умеренный	Повышенный
$2 < ПЭО_i \leq 3$	Отсутствует	Малый	Умеренный	Повышенный	Повышенный
$3 < ПЭО_i \leq 4$	Отсутствует	Умеренный	Повышенный	Повышенный	Критический
$4 < ПЭО_i \leq 5$	Отсутствует	Повышенный	Повышенный	Критический	Критический

▲ Матрица оценки риска экологических последствий в результате ЧС на ХОО для  $i$ -го земельного участка (почвы), объекта или водной среды

▲ Risk assessment matrix of the environmental consequences as the result of emergencies at chemically hazardous objects for the  $i$ -th land plot (soil), object or aquatic environment

### Заключение

Представленная методология позволяет провести всестороннюю оценку экологического риска от химически опасных объектов с точки зрения химической, экологической и промышленной безопасности. В настоящее время исследовательской группой проводится работа по созданию на основе данной методики информационно-аналитической системы, способной систематизировать и обрабатывать информацию для проведения анализа и управления экологическими рисками, осуществлять мониторинг экологической безопасности в целях оперативного реагирования на изменение факторов, влияющих на состояние защищенности опасного производственного объекта, и определять необходимые превентивные мероприятия, направленные на предупреждение аварий.

Статья написана в рамках реализации гранта Министерства образования и науки Республики Казахстан АР09259869.

### Список литературы

1. Yemelin P.V., Kudryavtsev S.S., Yemelina N.K. The methodological approach to environmental risk assessment from man-made emergencies at chemically hazardous sites. URL: <https://www.eeer.org/upload/eeer-2020-386.pdf> (дата обращения: 07.06.2021).
2. Экологический кодекс Республики Казахстан: Кодекс Республики Казахстан от 2 янв. 2021 г. № 400-VI. URL: <https://adilet.zan.kz/rus/docs/K2100000400> (дата обращения: 07.06.2021).

3. Directive 2012/18/EU of the European Parliament and of the Council of 4 July 2012 on the control of major-accident hazards involving dangerous substances, amending and subsequently repealing Council Directive 96/82/EC Text with EEA relevance. URL: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/GA/TXT/?uri=CELEX:32012L0018> (дата обращения: 07.06.2021).

4. О гражданской защите: Закон Республики Казахстан от 11 апр. 2014 г. № 188-V. URL: <https://adilet.zan.kz/rus/docs/Z1400000188> (дата обращения: 07.06.2021).

5. Об утверждении Правил идентификации опасных производственных объектов: приказ министра по инвестициям и развитию Республики Казахстан от 30 дек. 2014 г. № 353. URL: <http://adilet.zan.kz/rus/docs/V1400010310> (дата обращения: 07.06.2021).

6. Kemikaalikuljetusonnettomuuteen varautuminen Kymenlaaksossa, Ympäristö riskien arviointi ja puhdistusmenetelmien valinta (Preparedness for chemical transport accident in Kymenlaakso, Evaluation of environmental risks and suitable remediation methods). Final report of the ChemRisk project. In Finnish only/ J. Häkkinen, A. Kiiski, V. Malk et al. URL: [https://www.researchgate.net/publication/264382277\\_Kemikaalikuljetusonnettomuuteen\\_varautuminen\\_Kymenlaaksossa\\_Ymparistoriskien\\_arviointi\\_ja\\_puhdistusmenetelmien\\_valinta\\_Preparedness\\_for\\_chemical\\_transport\\_accident\\_in\\_Kymenlaakso\\_Evaluation\\_of\\_environ](https://www.researchgate.net/publication/264382277_Kemikaalikuljetusonnettomuuteen_varautuminen_Kymenlaaksossa_Ymparistoriskien_arviointi_ja_puhdistusmenetelmien_valinta_Preparedness_for_chemical_transport_accident_in_Kymenlaakso_Evaluation_of_environ) (дата обращения: 07.06.2021).

7. Environmental risk assessment of the most commonly transported chemicals: case study of Finnish coastal areas/ J. Häkkinen, V. Malk, A. Posti et al.//WMU Journal of Maritime Affairs. — 2013. — Vol. 12. — P. 147–160. DOI: 10.1007/S13437-013-0046-5

8. U.S. Environmental Protection Agency. Sustainable Futures. P2 Framework Manual 2012 EPA-748-B12-001. URL: <https://www.epa.gov/sites/production/files/2015-05/documents/05.pdf> (дата обращения: 07.06.2021).

9. Andersson Å.S. Development of an Environment-Accident Index. A planning tool to protect the environment in case of a chemical accident. URL: <https://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:141970/FULLTEXT01.pdf> (дата обращения: 07.06.2021).

10. Integrated Environmental Risk Assessment and Whole-Process Management System in Chemical Industry Parks/ Ch. Shao, J. Yang, X. Tian et al.// International Journal of Environmental Research and Public Health. — 2013. — № 10. — P. 1609–1630. DOI: 10.3390/ijerph10041609

11. Kidam K., Hurme M., Hassim M.H. Technical Analysis of Accident in Chemical Process Industry and Lessons Learnt// Chemical Engineering Transactions. — 2010. — Vol. 19. — P. 451–456. DOI: 10.3303/CET1019074

12. Сборник методик по прогнозированию возможных аварий, катастроф, стихийных бедствий в РСЧС. Книга 2. URL: <https://meganorm.ru/Data2/1/4293767/4293767471.pdf> (дата обращения: 07.06.2021).

13. *Расследование и учет аварий и несчастных случаев*: сб. док. — Сер. 29. — Вып. 1. — 14-е изд., испр. — М.: ЗАО НТЦ ПБ, 2010. — 220 с.

14. *ГОСТ 25100—95. Грунты. Классификация*. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200000030> (дата обращения: 07.06.2021).

yemelina\_n@mail.ru

*Материал поступил в редакцию 5 апреля 2022 г.*

«Bezopasnost Truda v Promyshlennosti»/ «Occupational Safety in Industry», 2022, № 5, pp. 81–89.  
DOI: 10.24000/0409-2961-2022-5-81-89

#### Methodology of Risk Assessment for the Environment from Emergencies at the Chemically Hazardous Objects

S.S. Kudryavtsev, Cand. Sci. (Biol.), Assoc. Prof.

Abylkas Saginov Karaganda Technical University, Karaganda, Republic of Kazakhstan

P.V. Yemelin, Dr. Sci. (Eng.), Deputy Director

LLP «NACW HCC», Karaganda, Republic of Kazakhstan

N.K. Yemelina, Cand. Sci. (Econ.), Assoc. Prof., Senior Lecturer, yemelina\_n@mail.ru

National Research University Higher School of Economics, Moscow, Russia

#### Abstract

The relevance of the work is due to the lack of a unified methodology for assessing environmental risks from hazardous production objects in the Republic of Kazakhstan, which makes it especially in demand against the backdrop of an increase in the number of new enterprises. The aim of the work is to develop a methodology for multifactorial assessment of the environmental risk from the technogenic accidents at chemically hazardous objects. The methodology uses the method of expert assessments. Employees of the Industrial Safety Committee and the Ministry of Ecology, Geology and Natural Resources of the Republic of Kazakhstan and their territorial subdivisions, employees of chemically hazardous objects responsible for their safe operation and environmental protection were involved as experts. Further, the statistical analysis and processing of expert assessments were carried out with the aim to determine the degree of agreement of expert opinions, to establish the final scores. This made it possible to determine the weight coefficients of the parameters and establish the final estimates for all valid values of the criteria parameters. The environmental risk of a chemically hazardous object is considered as a combination of indices of the environmental hazard of a chemically hazardous object, and the vulnerability of the environment from it. The first index is determined by the criterion parameters, united in 3 clusters: physicochemical, ecotoxicological properties of a hazardous chemical and its amount; technological equipment; and staff. After a quantitative assessment of the indicators using a matrix, it is possible to determine the level of environmental risk, both for a separate territory, and for zoning the entire territory around a chemically hazardous object. In the future, the creation of an information and analytical system based on the presented methodology will allow specialists to objectively

and quickly analyze the state of the environmental safety at industrial objects, make informed management decisions aimed at reducing the environmental risk to the environment around the chemically hazardous objects, and monitor the efficiency of the measures applied.

**Key words:** chemically hazardous object, hazardous chemical, risk assessment, environmental risk, chemical safety, environmental safety, industrial safety.

#### References

1. Yemelin P.V., Kudryavtsev S.S., Yemelina N.K. The methodological approach to environmental risk assessment from man-made emergencies at chemically hazardous sites. Available at: <https://www.eeer.org/upload/eeer-2020-386.pdf> (accessed: June 7, 2021).

2. Environmental Code of the Republic of Kazakhstan: Code of the Republic of Kazakhstan of January 2, 2021 № 400-VI. Available at: <https://adilet.zan.kz/rus/docs/K2100000400> (accessed: June 7, 2021). (In Russ).

3. Directive 2012/18/EU of the European Parliament and of the Council of 4 July 2012 on the control of major-accident hazards involving dangerous substances, amending and subsequently repealing Council Directive 96/82/EC Text with EEA relevance. Available at: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/GA/TXT/?uri=CELEX:32012L0018> (accessed: June 7, 2021).

4. On Civil Protection: The Law of the Republic of Kazakhstan of April 11, 2014 № 188-V. Available at: <https://adilet.zan.kz/rus/docs/Z1400000188> (accessed: June 7, 2021). (In Russ).

5. On approval of the Rules for the identification of hazardous production facilities: Order of the Minister for Investment and Development of the Republic of Kazakhstan of December 30, 2014 № 353. Available at: <http://adilet.zan.kz/rus/docs/V1400010310> (accessed: June 7, 2021). (In Russ).

6. Häkkinen J., Kiiski A., Malk V., Myyrä M., Penttinen O.-P. Kemikaalikuljetusonnettomuuteen varautuminen Kymenlaaksossa, Ympäristöriskien arviointi ja puhdistusmenetelmien valinta (Preparedness for chemical transport accident in Kymenlaakso, Evaluation of environmental risks and suitable remediation methods). Final report of the ChemRisk project. In Finnish only. Available at: [https://www.researchgate.net/publication/264382277\\_Kemikaalikuljetusonnettomuuteen\\_varautuminen\\_Kymenlaaksossa\\_Ymparistoriskien\\_arviointi\\_ja\\_puhdistusmenetelmien\\_valinta\\_Preparedness\\_for\\_chemical\\_transport\\_accident\\_in\\_Kymenlaakso\\_Evaluation\\_of\\_environment](https://www.researchgate.net/publication/264382277_Kemikaalikuljetusonnettomuuteen_varautuminen_Kymenlaaksossa_Ymparistoriskien_arviointi_ja_puhdistusmenetelmien_valinta_Preparedness_for_chemical_transport_accident_in_Kymenlaakso_Evaluation_of_environment) (accessed: June 7, 2021).

7. Häkkinen J., Malk V., Posti A., Penttinen O.-P., Mäkelä R., Kiiski A. Environmental risk assessment of the most commonly transported chemicals: case study of Finnish coastal areas. WMU Journal of Maritime Affairs. 2013. Vol. 12. pp. 147–160. DOI: 10.1007/S13437-013-0046-5

8. U.S. Environmental Protection Agency. Sustainable Futures. P2 Framework Manual 2012 EPA-748-B12-001. Available at: <https://www.epa.gov/sites/production/files/2015-05/documents/05.pdf> (accessed: June 7, 2021).

9. Andersson Å.S. Development of an Environment-Accident Index. A planning tool to protect the environment in case of a chemical accident. Available at: <https://www.diva-portal.org/>

smash/get/diva2:141970/FULLTEXT01.pdf (accessed: June 7, 2021).

10. Shao Ch., Yang J., Tian X., Ju M., Huang L. Integrated Environmental Risk Assessment and Whole-Process Management System in Chemical Industry Parks. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 2013. № 10. pp. 1609–1630. DOI: 10.3390/ijerph10041609

11. Kidam K., Hurme M., Hassim M.H. Technical Analysis of Accident in Chemical Process Industry and Lessons Learnt. *Chemical Engineering Transactions*. 2010. Vol. 19. pp. 451–456. DOI: 10.3303/CET1019074

12. Collection of methods for predicting possible accidents, catastrophes, natural disasters in the RSChS. Book 2. Available at: <https://meganorm.ru/Data2/1/4293767/4293767471.pdf> (accessed: June 7, 2021). (In Russ).

13. Investigation and accounting of injuries and accidents: collection of reports. Ser. 29. Iss. 1. 4-e izd., ispr. Moscow: ZAO NTTs PB, 2010. 220 p. (In Russ).

14. GOST 25100–95. Soils. Classification. Available at: <https://docs.cntd.ru/document/1200000030> (accessed: June 7, 2021). (In Russ).

*Received April 5, 2022*

## По страницам научно-технических журналов

май 2022 г.

### Проблемы анализа риска (научно-практический журнал)

**Михеев П.Н. Экстремальные метеорологические явления как факторы риска для объектов нефтегазовой отрасли. — 2021. — № 6. — С. 16–20.**

Рассматриваются вопросы, связанные с влиянием изменения повторяемости, интенсивности и продолжительности экстремальных метеорологических явлений на объекты нефтегазовой отрасли. В качестве характеристик экстремальных явлений используются рекомендованные Всемирной метеорологической организацией климатические индексы. Продемонстрированы возможности использования климатических индексов для идентификации физических рисков применительно к объектам нефтегазовой отрасли. Рассмотрены особенности пространственно-временной изменчивости климатических индексов и выявлены географические регионы Содружества Независимых Государств, наиболее и наименее уязвимые к изменениям экстремальных характеристик климата. Полученные результаты могут использоваться как на уровне отдельных предприятий и объектов нефтегазовой отрасли, так и при разработке общих для отрасли нормативных актов.

**Иващенко И.Н., Гончаров М.А. Безопасность и риск эксплуатируемых сооружений: методология оперативной оценки. — 2021. — № 6. — С. 66–83.**

Представлены две методики оценки риска гидротехнических сооружений (плотин): детерминированная и вероятностная. Методика детерминированной оценки риска использует индексы риска (индекс состояния плотины I), а также методы нечеткой логики для объединения исходной количественной и качественной (экспертной) информации о состоянии эксплуатируемой плотины. Применяемый подход соответствует рекомендациям ИЕС 31010: 2019. «Управление рисками — Методы оценки рисков. NEQ». Детерминированные оценки состояния в форме индексов риска использованы также в качестве исходных данных при оценке вероятности аварии и разработке вероятностной методики оценки рис-

ка. Модифицированные в процессе исследований исходная база данных и шкала оценки повреждений обобщают опыт обследований и экспертизы деклараций безопасности более 180 гидротехнических сооружений России. Дано описание методик начальной оценки и оцифровки (квантификации) индекса состояния I, а также объединения исходной количественной и качественной (экспертной) информации о различных повреждениях. Показана практическая целесообразность и возможность категоризации (с нечеткими границами) состояний и уровней повреждений гидротехнических сооружений. Применительно к различным состояниям и уровням повреждений предложены практические действия по обеспечению безопасности плотин в процессе мониторинга, обследования, разработки проекта реконструкции и его экспертизы. В результате исследований установлена зависимость вероятности аварии «rfailure» от среднего значения индекса I<sub>ср</sub> и представлен график «rfailure — I<sub>ср</sub>». Сформулированы предложения по практическому применению предлагаемых методик оценки риска эксплуатируемых плотин, а также рассмотрена ближайшая перспектива исследований в сфере оценки риска и обеспечения безопасности плотин.

**Брыкалов С.М., Трифонов В.Ю., Гурьева Е.А. Разработка классификатора рисков как этап успешного риск-менеджмента. — 2021. — № 6. — С. 40–53.**

Приведен анализ подходов к классификации рисков промышленных предприятий, сделаны выводы об их отличительных преимуществах и недостатках, а также оценены возможности их применения на предприятиях атомной отрасли. Предложен оригинальный персонализированный подход к разработке классификатора рисков с учетом специфики деятельности и отраслевой принадлежности промышленного предприятия. Представлен пример алгоритма разработки классификатора рисков с применением данного подхода для промышленного предприятия Госкорпорации «Росатом», который может быть применен в различных отраслях промышленности и может представлять интерес для научных работников и специалистов в области управления рисками.