

Министерство науки и высшего образования  
Российской Федерации  
федеральное государственное бюджетное  
образовательное учреждение высшего образования  
**РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ  
ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ**

**Е.В. Колесникова**

**ТЕХНОГЕННЫЕ СИСТЕМЫ  
И ЭКОЛОГИЧЕСКИЙ РИСК**

Учебно-методическое пособие  
для высших учебных заведений

Санкт-Петербург  
РГГМУ  
2020

УДК 504.064  
ББК 20.18  
К60

*Рецензент:* В.Ю. Третьяков, канд. геогр. наук, доцент кафедры геоэкологии и природопользования института наук о Земле СПбГУ

**Колесникова Е.В.**

К60      Техногенные системы и экологический риск: учебно-методическое пособие для высших учебных заведений. — СПб.: РГГМУ, 2020. — 124 с.

В пособии предлагаются методические подходы к освоению теории и практики расчёта и оценки экологического риска. Приводится анализ основных направлений философских и методических подходов в развитии теории риска, обобщён материал нормативно-законодательной базы оценки экологических рисков в России и за рубежом, представлен системный подход к обеспечению экологической безопасности.

Учебное пособие предназначено для студентов высших учебных заведений, обучающихся по естественнонаучным и инженерным направлениям.

УДК 504.064  
ББК 20.18

ISBN 978-5-86813-513-2

© Е.В. Колесникова, 2020  
© Российский государственный  
гидрометеорологический университет, 2020

## Оглавление

Введение.....	6
Раздел 1. Концепция природно-технической системы .....	9
Тема 1. Понятие сложного системного объекта.....	9
Тема 2. Концепция природно-технических систем.....	14
Литература по разделу 1 .....	22
Основная.....	22
Дополнительная.....	23
Контроль полученных знаний.....	24
Контрольные вопросы по разделу 1:.....	24
Раздел 2. Философские и правовые аспекты риска.....	26
Тема 1. История формирования науки о риске. Основные подходы к определению понятия «риск» в России и за рубежом. ....	26
Тема 2. Экологический риск. Современные приоритетные направления исследований экологического риска.....	37
Тема 3. Экологическая опасность. Экологическая безопасность. Вероятность неблагоприятного события. ....	43
Литература по разделу 2 .....	51
Основная.....	51
Дополнительная.....	52

Контроль полученных знаний .....	52
Контрольные вопросы по разделу 2 .....	52
Расчетно-графическая работа 1. Анализ опасных процессов и явлений в России с использованием рискологической концепции .....	54
Раздел 3. Регулирование риска в схеме управления природно-техническими системами .....	57
Тема 1. Управление природно-техническими системами через концепцию устойчивого развития и приемлемого риска. Управление риском. ....	57
Тема 2. Количественная оценка экологического риска. ....	61
Тема 3. Основные нормативные уровни экологического риска. ....	74
Литература по разделу 3 .....	81
Основная.....	81
Дополнительная.....	82
Контроль полученных знаний .....	83
Контрольные вопросы .....	83
Контрольная работа 1 .....	85
Примерные темы рефератов (эссе, докладов, сообщений).....	87
Раздел 4. Оценка риска аварий.....	88
Тема 1. Оценка экологического ущерба в случае аварии .....	93

Тема 2. Оценка экологического риска на опасных объектах .....	99
Литература по разделу 4 .....	104
Основная.....	104
Дополнительная.....	106
Контроль полученных знаний .....	108
Контрольные вопросы .....	108
Примерные темы рефератов (эссе, докладов, сообщений) .....	109
Расчетно-графическая работа 2. Расчет и оценка экологического риска при проектировании нефтепровода. .....	111
ПРИЛОЖЕНИЕ А. Исходные данные к расчетно-графической работе 2.....	113
ПРИЛОЖЕНИЕ Б. Определение варианта для выполнения заданий. ....	123

## Введение

Учебно-методическое пособие адресовано студентам-экологам, а так же всем обучающимся по естественнонаучным и инженерным направлениям, чьи интересы связаны с расчётами, оценкой и управлением рисками. Предлагается методическое обеспечение освоения курса «Техногенные системы и экологический риск» в высших учебных заведениях. Сюда включены обзор философских и методических подходов в развитии теории риска, обобщение материалов нормативно-законодательной базы оценки экологических рисков в России и за рубежом, таблицы и рисунки, основанные на обобщении актуальной информации по курсу. Весь материал пособия разбит на разделы, позволяющие студентам поэтапно, «от общего к частному» пройти освоение дисциплины. В конце каждого раздела приводится список использованных (основная литература) и рекомендованных (дополнительная литература) источников для самостоятельного освоения материала, а так же контрольные вопросы и задания.

По данной тематике существует большое количество изданий, как научных, так и учебно-методических. Однако

с этим связаны и сложности освоения дисциплины. Дело в том, что сейчас в науке о риске нет единства ни в понимании сущности риска, ни в терминологии, ни в применяемых методах исследования. Основная цель пособия — помочь студентам сориентироваться в потоке информации по определению, анализу и нормированию риска, выделить основные направления в теории экологического риска, развить навыки работы с руководящими документами, познакомить с федеральными законами Российской Федерации и подготовить специалистов к дальнейшим исследованиям в этой, безусловно, важной для нашей страны области. В пособии представлены современные методики расчёта и оценки риска, применяемые на производстве в РФ. Так же студенты знакомятся с зарубежными методиками и подходами.

Другой методической проблемой является интегративность, комплексность дисциплины. В системе обеспечения экологической безопасности скопилось обилие информационного материала и возникла насущная потребность в его интеграции и систематизации. Решение таких задач возможно лишь на основе системного подхода, который органически сочетает в себе и анализ, и синтез. Само понятие «риск» возникло в науке из-за необходимости

комплексного анализа большого количества факторов, их математической свёртки и наглядного представления, понятного широкому кругу лиц. Рассмотрение же риска, возникающего при функционировании техногенных систем, тем более требует от студентов предварительной подготовки. Поэтому на момент прохождения курса студенты должны освоить (или начать осваивать) дисциплины, связанные с охраной окружающей среды: «Мониторинг окружающей среды», «Экономика природопользования», «Правовые основы природопользования и охраны окружающей среды», «Статистические методы обработки и анализа геоэкологической информации», «Оценка воздействия на окружающую среду», «Нормирование и снижение загрязнения окружающей среды», «Инженерная экология».

В заключение выражаем благодарность всем сотрудникам кафедры прикладной и системной экологии РГГМУ, увлечённым исследователям, за поддержку и мотивацию. Особая благодарность выражается студентам-дипломникам за совместный труд по поиску информации и расчётам экологического риска для разных сфер деятельности и регионов России.

## Раздел 1. Концепция природно-технической системы

### Тема 1. Понятие сложного системного объекта.

В настоящее время обеспечение экологической безопасности невозможно без системного подхода к природным и техническим системам. По-другому это можно сформулировать как необходимость понимания, что всё, что нас окружает — является либо системой, либо подсистемой, либо является её структурным элементом. Более того, управлять можно только системным объектом. Что же делает систему системой, чем отличается системный объект от простого набора элементов?

Системой называется множество элементов, находящихся в отношениях и связях друг с другом и образующих определённую целостность, единство. Все подсистемы и входящие в них элементы взаимно связаны по меньшей мере с одним другим элементом или подсистемой и нет таких, которые бы не находились в связи с другими. Все компоненты системы разделяются на уровни, между различными уровнями также существуют связи. Если система

не разделяется сразу на отдельные элементы, то она является периодической.

При анализе и оценке экологического риска важно, что бы исследователь мог сформулировать по крайней мере несколько свойств исследуемой системы. К общим свойствам системы можно отнести:

*Целостность* — появление новых свойств, которых нет у каждой ее части в отдельности. За счет этого система может существовать и выполнять свои функции.

*Разнообразие* — наличие качественно разных элементов в системе, выполняющих различные функции, от которых зависит работа всей системы.

*Связанность* — осуществление обмена информацией между системами, невозможность включения в систему элементов без информационного обмена.

*Целенаправленность* — возможность управления системой путем изменения параметров в одном элементе для преобразования состояния другого.

*Устойчивость* — при воздействии внешней среды на систему она сохраняет свои свойства, то есть функционирует без значительного изменения.

*Иерархичность* системы — каждая ее компонента, в свою очередь, может рассматриваться как система, а сама

исследуемая система представляет собой лишь один из компонентов более широкой системы.

*Синергизм* — явление взаимного усиления эффективности основного и (или) побочных видов действия отдельных составляющих системы при их совместном действии.

Понимание термина «система» так важно еще и потому, что он неразрывно связан с понятием «системный подход». Еще в 1972 г. философы отмечали: «Системно-структурный подход к изучаемым объектам в настоящее время приобретает статус общенаучного принципа: во всех специальных науках, в меру их развитости и внутренних потребностей, используется системный подход» (В.С. Тьютин). Системный подход это направление методологии науки, в основе которого лежит исследование объектов как систем. Он ориентирует исследование на раскрытие целостности объекта и обеспечивающих ее механизмов, на выявлении многообразных типов связей сложного объекта и сведения их в единую теоретическую картину. Системный подход воплощает в себе идею всеобщей связи явлений, взаимодействия и взаимовлияния различных процессов. В центре внимания системного исследования — объект-система как некоторая целостность, общие

для всей системы закономерности функционирования и развития, которые оказывают определяющее влияние на деятельность входящих в нее элементов.

Интересно, что идея такого подхода совсем не нова. Так, например, хорошо известен календарь майя, цивилизации, зародившейся 2000—900 годах до н. э. в Центральной и Южной Америке (рисунок 1). Этот календарь — замечательная иллюстрация системного подхода в методологии познания окружающей среды. Он организован в виде спирали, которая отражает прохождение определенного цикла и выход на новый уровень (периодическая система). Исчисления по этому календарю закончились совсем недавно в 2012 г. Однако учёные майя не предсказывали нам «конец света», в этот год заканчивается цикл, отражённый календарём, мы снова попадаем в его начало, и начинается новый отсчёт. Одна из основных идей философии майя, зашифрованной в календаре, это двойственность нашего существования. День и ночь, солнце и луна, мужчина и женщина, черное и белое, лето и зима и так далее. Знания были утеряны, календарь долгое время, века оставался загадкой и впервые был расшифрован нашим соотечественником, советским и российским историком, приверженцем математических методов исследования недешифрованных

письменностей. Юрий Валентинович Кнорóзов открыл для мира календарь майя. В 1955 г. он защитил диссертацию, за которую был удостоен степени доктора исторических наук, минуя кандидатскую. Мировая общественность узнала об открытии в 1956 г. на Международном конгрессе американистов в Копенгагене. Великие достижения науки майя в астрономии, метеорологии, геодезии, строительстве, философии и психологии были утеряны и через века мы снова к ним возвращаемся, что уже само по себе подтверждает правомерность системного подхода и развитие социума «по спирали».

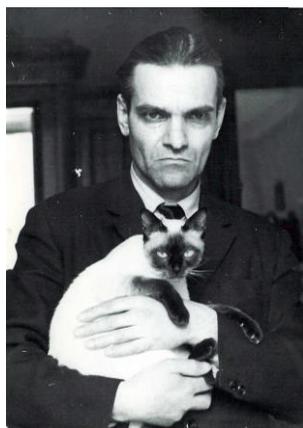
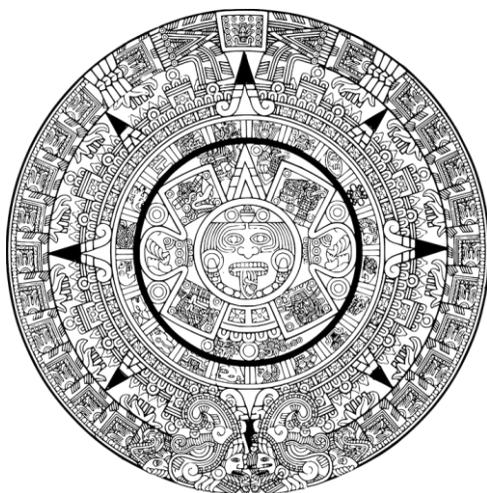


Рисунок 1. Календарь майя. Ю.В. Кнорозов.

Возвращаясь к концепции риска нужно сказать, что она возникла, основываясь именно на системном подходе. Он выражен в поиске и анализе максимально полного объема информации о исследуемом объекте (идентификация опасности), выявлении внутренних и внешних связей системы, их возможного влияния на предмет исследования (оценка экспозиции), в поиске математических методов для описания взаимосвязей внутри системы и ее взаимодействия с другими системами (построение зависимости «доза-ответ») и заключении максимально полных и всеобъемлющих выводов (характеристика риска).

Тема 2. Концепция природно-технических систем.

Расчет и анализ экологического риска проводится при исследовании функционирования технических систем. Их влияние на окружающую среду столь велико, что деятельность отдельных индивидуумов на уровне оценки риска не рассматривается. Техногенной системой называется сложная, искусственно созданная человеком конструкция, которая работает в контакте с природной окружающей средой. В общем виде различают следующие виды техно-

генных систем: селитебные, транспортные, промышленные, коммунальные, бытовые, природные, сельскохозяйственные, рекреационные, лесотехнические, водоохранные и другие.

Воздействие техногенных систем на окружающую среду не ограничивается лишь загрязнением, процессом, так хорошо известным студентам. В настоящее время выделяют семь типов процессов, которые органически связаны с проявлением действия техники в природе и могут вызывать негативные последствия. Согласно А.Ю. Ретеюму эти типы процессов, в кратком изложении, выглядят следующим образом.

#### 1. Поступление в природу чужеродной субстанции:

- выделение твердых и жидких отходов, накопление мусора;
- выброс и сброс загрязняющих веществ,
- затопление территорий (при создании водохранилищ);
- выделение органических веществ, выделение микроорганизмов (фермами, заводами микробиологических препаратов); выделение живых организмов (акклиматизация и интродукция);
- генерирование электромагнитных излучений; шум;

- выброс радиоактивных элементов; выделение тепла.

## 2. Извлечение из природы субстанции:

- добыча твердых полезных ископаемых;
- добыча нефти, газа;
- откачка и забор воды;
- добыча органических веществ (торф, сапрпель); сбор растительной биомассы, заготовка леса; промысел животных.

## 3. Блокирование:

- остановка потоков минеральных веществ (вдольбереговых потоков наносов в море, песка в пустыне, оползневых масс на склоне);
- подпор водных потоков, остановка потоков снега;
- предотвращение или резкое уменьшение испарения;
- остановка движущихся живых организмов (мигрирующих животных у искусственных препятствий);
- остановка потоков воздуха у сооружений.

## 4. Ускорение потоков без приложения внешней силы:

- поверхностных вод (в самотечных каналах при спрямлении русел рек); подземных вод при дренаже;

- воздуха (при линейной застройке городов и поселков);
- живых организмов (вынос мальков на поля с поливной водой);
- минеральных веществ (почвенных солей при подтоплении в аридном климате).

#### 5. Превращения субстанции:

- воды (при замерзании почвенной влаги на искусственно оголенных от снега участках или испарении с поверхности прудов);
- льда и снега (таяние многолетнемерзлых пород под трубопроводами);
- водяного пара (выпадение дополнительных атмосферных осадков над орошаемыми полями);
- минерального вещества (выщелачивание горных пород или их образование из растворов); органического вещества (минерализация гумуса при осушении почв).

#### 6. Мобилизация субстанции:

- воды (при таянии многолетнемерзлых пород, каптаже подземных вод);
- воздуха (благодаря бризам на берегах крупных водохранилищ);

- минерального вещества (эрозия, абразия, взмучивание илов со дна водоемов и водотоков; миграция солей к земной поверхности при орошении почв в засушливом климате);
- живых организмов (распугивание животных вокруг промышленных объектов или, наоборот, их привлечение пищевыми отходами);
- органических веществ (при вспашке);
- радиоактивных элементов (при выщелачивании из внесенных в почву фосфорных удобрений).

#### 7. Иммобилизация субстанции:

- минеральных веществ (осаждение речных наносов в верхнем бьефе гидроузлов, захоронение твердых отходов);
- воды (заболачивание территорий вырубок леса в северных регионах, закачка сточных вод в скважины);
- снега (непреднамеренное задержание снега вдоль дорог);
- органических веществ (складирование бытовых отходов); живых организмов (применение пестицидов, гербицидов, использование аттрактантов);

— радиоактивных веществ (захоронение отходов).

Как можно видеть, взаимодействие человека с окружающей средой весьма разнообразно и для исследования и контроля требует системного подхода. При оценке экологического риска важно сделать всесторонний анализ и ранжирование по степени опасности всех факторов. Каждая ситуация требует к себе индивидуального подхода.

Сейчас принято считать, что рассмотрение природных систем в чистом виде уже не актуально, куда более насущна проблема поиска таких систем: естественных, нетронутых, фоновых. В настоящее время все природные системы рассматриваются как природно-технические, то есть взаимодействующие с техногенной сферой. Рассмотрим это понятие. Природно-техногенные системы это совокупность природных объектов и инженерных сооружений, взаимодействующих с окружающей средой.

Методология изучения взаимодействия техники и природы базируется на рассмотрении связей между природными и техническими подсистемами. Природно-технические системы — системы открытые, обменивающиеся со средой веществом и энергией. Поэтому они образуют сферу влияния, состоящую из зон, подзон и поясов, в пределах которых природные процессы в той или иной

степени детерминированы их функционированием (схемы на рисунках 2 и 3).

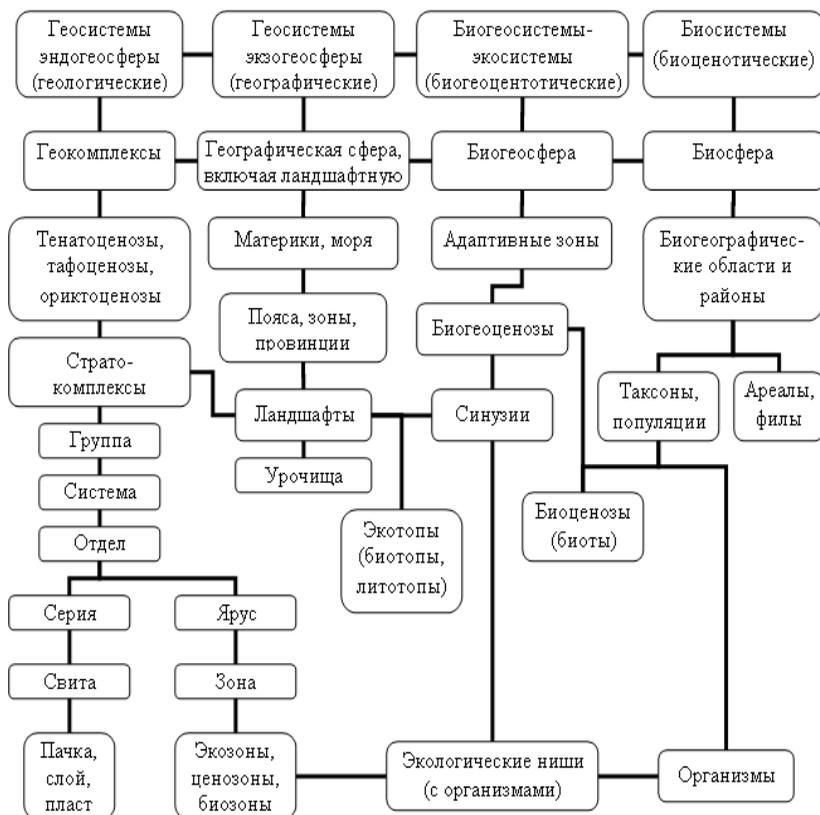


Рисунок 2. Соотношения геосистем, биогеосистем и биосистем по И.В. Крутю.

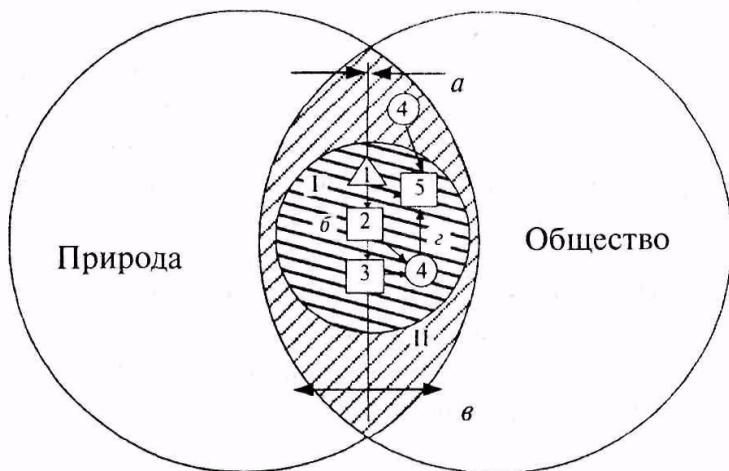


Рисунок 3. Принципиальная схема геотехнической системы по К.Н. Дьяконову, А.В. Дончевой.

## Литература по разделу 1

### Основная

1. География, общество, окружающая среда. Том II. Функционирование и современное состояние ландшафтов/ Под ред. проф. К.Н. Дьяконова и проф. Э.П.Романовой. М.: «Издательский дом «Городец», 2004. 606 с.
2. Геологические тела (терминологический справочник)/ Под ред. Ю.А.Косыгина, В.А.Кулындышева, В.А.Соловьева. М., 1986. 334 с.
3. Дьяконов К.Н., Дончева А.В. Экологическое проектирование и экспертиза. Учебник. М.: Аспект Пресс, 2002. 384 с.
4. Круть И.В. Развитие общенаучных оснований геологии: Историко-теоретические очерки. Москва: Наука, 1995. 287 с.
5. Круть И.В., Забелин И.М. Очерки истории представлений о взаимоотношении природы и общества: Общенаучные и геолого-географические аспекты. Москва: Наука, 1988. 415 с.

6. Полещук И.А. Системный подход и понятие системы // Наука и образование сегодня. — 2015. — № 5/ — С. 47-50; URL: <https://scienceproblems.ru/images/PDF/Science-and-education-today-1-2015.pdf>
7. Ретеюм А.Ю. О методах оценки экологического ущерба // Экология и жизнь. 2011. № 12. С. 105-107.

#### Дополнительная

1. Князева Е.Н., Курдюмов С.П. Основания синергетики: Режимы с обострением, самоорганизация, темпомиры. СПб.: Алетейя, 2002. 414 с. 4.
2. Мир вокруг нас: Беседы о мире и его законах / В.Г. Астахова, Е.В. Дубровский, И.И. Жерневская и др. М.: Политиздат, 1983. 197 с. 5.
3. Молчанова М.А. Юрий Кнорозов // «Квантик» История науки. —2018 №7; URL: [https://elementy.ru/nauchno-populyarnaya\\_biblioteka/434684/Yuriy\\_Knorozov](https://elementy.ru/nauchno-populyarnaya_biblioteka/434684/Yuriy_Knorozov) (дата обращения 19.06.2020).
4. Трубецков Д.И., Мчедлова Е.С., Красичников Л.В. Введение в теорию самоорганизации открытых систем. 2-е изд., М.: Физматлит, 2005. 212 с. 7.

5. Хакен Г. Синергетика. Иерархия неустойчивостей в самоорганизующихся системах и устройствах. М.: Мир, 1985, 423 с. 8.
6. Хакен Г. Тайны природы. Синергетика: учение о взаимодействии. М.— Ижевск: Институт компьютерных исследований, 2003. 320 с.

### Контроль полученных знаний

#### *Контрольные вопросы по разделу 1:*

1. Что называется системой?
2. Что называется целостностью системы?
3. Как подразделяются свойства систем?
4. Что называется системным подходом?
5. Что понимается под инженерными сооружениями?
6. Что понимается под «природно-технической системой» (ПТС)?
7. Какие системы можно привести в качестве примера современных ПТС?
8. Что называется «техногенными воздействиями»?
9. Какие выделяются иерархические уровни организации природных систем?

10. Что понимается под целостностью природной системы?
11. Что понимается под устойчивостью природной системы?
12. Что понимается под саморегулированием природной системы?
13. Какие выделяют степени антропогенных нарушений естественных природных систем?
14. В чём заключается сложность выделения границ природно-технических систем?
15. Каким образом проводятся пространственные границы ПТС на различных иерархических уровнях?

## Раздел 2. Философские и правовые аспекты риска

Тема 1. История формирования науки о риске. Основные подходы к определению понятия «риск» в России и за рубежом.

Наука о риске сформировалась в последней четверти XX века, и она, безусловно, будет одной из ведущих в нашем столетии. Причина этого в том, что важнейшая особенность науки о риске — ее междисциплинарный характер с теснейшим взаимодействием технических, естественных и гуманитарных наук.

Формирование научных положений рискологической концепции началось в средние века и связано со становлением теории вероятности, социального страхования и экономическим развитием общества. Так, начало исследований в области риска прослеживается еще XIII веке, они были связаны с азартными играми и попытками подсчитать число возможных исходов при бросании игральных костей. В XVI веке впервые осмыслить закономерности игры попытался Кардано. В его трактате «Книга о случайных играх» были предприняты первые серьезные попытки

разработать статистические принципы теории вероятности. Именно он сформулировал общепринятое сейчас представление о вероятности как отношении благоприятных исходов к общему числу возможных. В XVII веке Блез Паскаль — французский математик, в сотрудничестве с другим математиком Пьером де Ферма поставили и решили математическую задачу о распределении банка между двумя игроками в случае прекращения неоконченной игры при однозначном перевесе одного из игроков к моменту окончания игры. В результате чего, Блез Паскаль и Пьер де Ферма разработали теорию вероятности, которая дала новые возможности оценки величины риска. Также Паскаль и Ферма предложили системный метод вычисления вероятности будущих событий. Это был огромный мировоззренческий и практический прорыв, который позволил научно осуществлять количественные прогнозы будущего.

Однако использование аппарата теории вероятности требовало наличия рядов наблюдений. Гениальным решением данной проблемы явилось предложение Джона Гранта о возможности использования выборки при принятии решений. В 1662 г. в Лондоне он опубликовал книгу «Естественные и политические наблюдения, касающиеся свидетельств о смерти», в которой впервые были исполь-

зованы выборочные и вероятностные методы, являющиеся основой управления риском. Позже Эдмунд Галлей, используя научные подходы Гранта, провел статистическое исследование в г. Бреслау за 1687 — 1691 гг. Имея подробные данные о рождаемости и смертности, он получил уникальные результаты: оценил общее количество людей проживающих в данном городе; разработал таблицы, в которых разбил население на возрастные группы, это детализировало информацию по каждой из этих групп и позволило оценить количество оставшихся лет жизни (вероятность наступления смерти) для представителей каждой возрастной группы. Эти таблицы могли быть использованы для расчета стоимости страхования жизни людей разных возрастных категорий.

Развитие страхового бизнеса имело еще одно важное направление — страхование морских рисков. При этом была необходима информация о новых маршрутах, странах, условиях мореплавания и так далее. Эдвард Ллойд, владелец кофейни на берегу Темзы, заметил интерес своих клиентов к определенной информации и в 1696 г. начал выпускать информационный лист, в котором собирались сведения о приплывающих и отплывающих судах, об обстановке за границей и на морях, о кораблекрушениях.

Стало очевидно, что дополнительная информация об условиях мореплавания способствует значительному снижению рисков.

Второй период развития теории риска можно отнести к 1700 — 1900 гг., он тесно связан с развитием новых технологий в производстве и предпринимательской деятельности, требующей анализа большого числа разнородных факторов и связанной с большими капиталовложениями, то есть с рисками. В начале XVIII века Готфрид Вильгельм Лейбниц выдвинул идею, а Якоб Бернулли обосновал закон больших чисел и основные процедуры статистики. В работе «Закон больших чисел» Я. Бернулли показал, как, располагая ограниченным набором данных, можно рассчитать вероятность и статистическую значимость событий. В XVIII веке начинают формироваться основные принципы теории риска в предпринимательской деятельности, связанные с парадигмой экономического анализа классической политэкономии, в первую очередь, с работами Адама Смита. В своей книге "Исследование о природе и причинах богатства народов" (1784 г.) он рассматривал теорию предпринимательского риска на примерах оплаты труда наемных рабочих, функционирования лотерей, практики страхового дела. Его труды актуальны до сих пор. Но и

современники высоко оценили А. Смита, вспомним описание восемнадцатилетнего Евгения Онегина из одноименного романа в стихах:

Бранил Гомера, Феокрита;  
Зато читал Адама Смита  
И был глубокий эконом,  
То есть умел судить о том,  
Как государство богатеет,  
И чем живет, и почему  
Не нужно золота ему,  
Когда простой продукт имеет.

А.С. Пушкин

Адам Смит одним из первых показал, что предпринимательский риск имеет не только *экономическую*, но и *психофизическую* природу, и пришел к выводу о том, что "профессии с высоким уровнем риска гарантируют в среднем более высокую оплату, чем профессии с низким уровнем риска". Этот вывод позднее был положен в основу известного современного постулата теории риска — о взаимосвязи уровней доходности и риска.

Третий период развития теории риска можно отнести к периоду 1900 — 1960 гг. В это время понятие «риск» стало привычным для общества, продолжается его изучение для работы предприятий в рыночной экономике в

условиях неопределенности. Развитие рискологической концепции вызывает к ней все больший интерес. Кроме экономики ее применяют, адаптируя к своим задачам, и в других сферах деятельности. Нам важно, что в это время риск уже стали рассматривать как результат воздействия антропогенных и природных факторов, что стало возможно при высоком уровне знаний человека об окружающем мире. Появилась необходимость системного подхода к управлению рисками. Возникли сложные системы оценки и прогнозирования, позволяющие эффективно управлять рисками. При этом для количественного измерения величины риска широко применялся математический аппарат теории вероятности, использующий понятие «случайность». На этом этапе идет разработка терминологического аппарата для теории риска.

Четвертый период развития теории риска — с 1960 г. по настоящее время. Постулаты рискологической концепции окончательно утвердились в системе решения экологических задач и принятия решений. В это время наблюдается рост техногенной нагрузки на биосферу, развитие новых технологий, увеличение объемов промышленного и сельскохозяйственного производства, расширение сети транспортных систем и систем передачи энергии и энерго-

носителей. Следствием этого являются все чаще возникающие *чрезвычайные ситуации, аварии и катастрофы*, характеризующиеся значительными материальными, социальными и экологическими последствиями. В том числе на таких объектах высокой технологии, как атомные электростанции, химические комбинаты, нефте- и газопроводы и так далее.

Обеспечение экологической безопасности, здоровья населения сейчас связано с анализом многих факторов. Так, например, уже хорошо изучена миграция между компонентами окружающей среды таких токсичных веществ, как ртуть, кадмий, свинец, алюминий, цинк. Они поступают в окружающую среду с выбросами и сбросами, со шлаками, золами, аэрозолями и газами. Эти вещества концентрируются в городах и промышленных зонах, вдоль дорог, а затем переносятся на расстояния в десятки и сотни километров, выпадают с пылью, дождями, снегом на растения и почву. Значительная часть элементов, поступающих на поверхность почв с техногенными потоками, задерживается в ее верхнем горизонте. Другая часть элементов проникает внутрь почвенной толщи при нисходящем потоке почвенной влаги, а также механическим путем за счет деятельности почвенной фауны (рисунок 4). Изучена и даль-

нейшая миграция загрязняющих веществ в растения, животных и рыбу. Такая миграция веществ создает угрозу не только звеньям экологической цепи, но и здоровью человека, поглощающего токсичные элементы с едой, водой и воздухом. Уже ясно, что именно комплексный анализ позволит оценить сложившуюся проблемную ситуацию, а значит и осуществлять управление. Всё это чрезвычайно усложняет процесс оценки опасности и принятия решений и, в то же время, делает его всё более актуальным. Стала очевидной необходимость в разработке *новых подходов к обеспечению безопасности* человека и природной среды. Именно поэтому в странах с развитой экономикой сформировалась *новая отрасль знания* — анализ экологических рисков и управление ими.

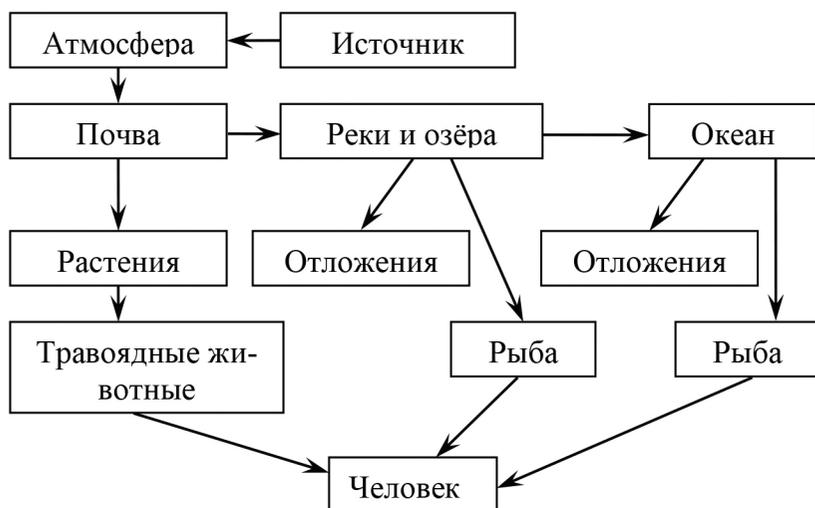


Рисунок 4. Схема миграции загрязняющих веществ между компонентами окружающей среды.

В индустриально развитых странах постоянно растет финансирование научных исследований в области анализа и оценки риска. Например, в химической промышленности США на решение проблем риска и научные разработки ассигнуется сейчас 25—30% средств, в фармакологии — более 50%. За рубежом сформировался круг специалистов нового типа — *экспертов риска*, которые, по мнению социологов, будут составлять новую элитную прослойку постиндустриального общества. В России, как и во многих других странах мира, законодательно приняты методики

оценки экологического риска, которые во много взяты из разработок США — несомненного лидера в этой сфере.

Сейчас теория риска интенсивно развивается, однако многие основополагающие положения этой науки остаются дискуссионными. В настоящее время не выработано единого подхода к определению понятия риска. Это связано с отсутствием фундаментальных работ по его исследованию. До сих пор нет единого определения самого понятия “риск”. На эту тему написано много трудов, разнообразие определений риска может ввести в затруднение молодого исследователя тем больше, чем больше им прочитано литературы. Так, например, Н.Д. Ильенкова в своей докторской диссертационной работе выделяет 5 направлений определения риска:

1. Риск как последствие опасности: как правило, с этим понятием риска связано формирование резервов, аварийных запасов (Салин В. Н., Смирнов В. В. и др.);
2. Риск как элемент деятельности, связанной с неожиданным результатом (Балабанов И. Т., Омаров А. М. и др.);
3. Риск как возможность, вероятность потери ресурсов, недополучения доходов, то есть непредвиденных потерь (Васильчук Е. С. и Рухманова А. Н., Грабовый П. Г. и др.);

4. Риск как неопределенность в связи с нестабильностью ситуации (Ильин Н. И., Лукманова И. Г., Немчин А. М. и др.);
5. Риск как интегральный результат деятельности предприятия при выборе различных вариантов развития (Бачкаи Т., Мессена Д. и др.).

И это далеко не полный свод подходов к определению термина «риск». При первом знакомстве с тематикой студенты, как правило, находят следующие определения, взятые из финансово-кредитного энциклопедического словаря:

1) Риск это вероятность наступления событий с негативными последствиями;

2) Риск это опасность возникновения непредвиденных потерь, убытков, недополучения доходов, прибыли по сравнению с планируемым вариантом.

Таким образом, можно сформулировать наиболее общий подход к современному понятию риска, который определяется как возможность (вероятность) потерь, возникающих при возникновении неблагоприятных ситуаций.

## Тема 2. Экологический риск. Современные приоритетные направления исследований экологического риска

При решении проблем экологической безопасности научно-методологический аппарат оценки риска оказался просто незаменим. Так же, как экономистам, экологам приходится решать задачи управления ситуацией повышенной опасности, в условиях неопределённости и с большим количеством влияющих на развитие событий факторов. В экологии, как и в других отраслях, термин “риск” трактуется неоднозначно. Однако можно выделить основные тенденции в понятийном аппарате концепции экологического риска.

Очень часто термин “риск” употребляется как тождественный термину “*опасность*”, можно привести целый ряд примеров определений, например: “риск это опасность будущего ущерба» или “риск — это опасность возникновения неблагоприятных последствий рассматриваемого события”.

Другая тенденция в определении риска состоит в том, что под риском подразумевают возможность или *вероятность* неблагоприятного события или процесса.

- В выпущенной в 1994 г. «Энциклопедии окружающей среды» сказано, что “Риск представляет собой *шанс того, что может случиться нечто нежелательное*”. По-видимому, эта тенденция в определении риска унаследована из гражданского права, точнее — из практики страхования, где под риском понимают вероятность (шанс) наступления нежелательных последствий.
- В опубликованной в 1993 г. монографии У. Хэлленбека, посвященной проблемам количественного оценивания экологического риска и риска профессиональных заболеваний, термин “риск” рассматривается как синоним терминов “*вероятность*” и “*частота*”.
- В Энциклопедии окружающей среды, 1994 г., термин риск поясняется как шанс того, что может случиться нечто нежелательное.
- Гражданское право в главе «Практика страхования» определяет риск как вероятность (шанс) наступления нежелательных последствий.
- Статья 2 Федерального закона Российской Федерации "О техническом регулировании" № 184-ФЗ от 27

декабря 2002 определяет риск как вероятность причинения вреда жизни или здоровью граждан, имуществу физических или юридических лиц, государственному или муниципальному имуществу, окружающей среде, жизни или здоровью животных и растений с учетом тяжести этого вреда. Данное определение интегрирует несколько разноплановых понятий о риске (здоровью, экологический, повреждений имущества), что соответствует экологической проблематике.

- Наконец статья 1 Федерального закона «Об охране окружающей среды» в редакции, действующей с 1 января 2020 года, определяет экологический риск как вероятность наступления события, имеющего неблагоприятные последствия для природной среды и вызванного негативным воздействием хозяйственной и иной деятельности, чрезвычайными ситуациями природного и техногенного характера.

Как же разобраться в таком количестве определений риска? Студенты часто задают вопрос, какое определение является правильным? Обзор научных публикаций и действующих руководящих документов показывает, что все большее распространение получает такой подход к опре-

делению риска неблагоприятного события, который учитывает не только *вероятность* этого события, но также все его возможные *последствия*. Вероятность события или процесса здесь выступает одним из компонентов риска, а мера последствий (ущерба) — другим. Такое двумерное определение риска используется при его *количественном* оценивании. В общем виде наиболее распространенную меру риска можно выразить через показатель, который рассчитывается согласно следующей формуле:

$$\sum_{i=1}^n R = \sum (p_i \cdot x_i), \quad (1)$$

где  $p_i$  — ожидаемая частота наступления неблагоприятного события  $i$ , от которого оценивается риск,

$x_i$  — величина ожидаемого ущерба от рассматриваемого неблагоприятного события,

$n$  — число возможных вариантов развития события, например, сценариев аварии.

С этим связаны и определения экологического риска, которому посвящен данный курс:

- Экологический риск — сочетание вероятности неблагоприятного для окружающей среды события и его последствий.
- Экологический риск — это количественная или качественная оценка экологической опасности неблагоприятных воздействий на окружающую среду.
- Экологический риск — вероятность деградации ОС или перехода ее в неустойчивое состояние. *Экологический словарь, 2001.*
- Экологический риск — вероятностная мера опасности причинения вреда природной среде в виде возможных потерь за определенное время.

Как можно видеть в определениях экологического риска в той или иной мере присутствует оценка и вероятности неблагоприятного события, и оценки его ущерба.

Однако существует и иной подход к определению риска — *психометрический*. Он основан на многочисленных факторах, ответственных за *восприятие* риска и влияющих на принятие связанных с риском решений. Эти факторы, *выявленные психологами*, имеют *качественный* характер. Такой подход полезен при выявлении приоритетов людей в их отношении к совокупности опасных событий

или процессов. Психологическое восприятие риска населением зависит от истории и возраста этноса, уровня жизни, демографического состава, культурных традиций и пр. Так, например, в декабре 2018 г. в Индии, в штате Уттар-Прадеш, от холодов погибли более 140 жителей. Самая низкая температура в декабре составила 3,6 градуса. Обычно зимой там не бывает холодней +20. Жертвами похолоданий стали жители бедных кварталов и рабочие, которые ночуют прямо на земле. В России же перепад температуры за год на 50 градусов является совершенно обычным и не воспринимается населением как катастрофа. Оказалось, что при оценке риска весьма существенными являются *факторы и механизмы восприятия риска*, а так же *информированность* разных слоев населения.

Тема 3. Экологическая опасность. Экологическая безопасность. Вероятность неблагоприятного события.

Как было показано выше, понятие «риск» неразрывно связано с такими понятиями, как «вероятность», «опасность», «ущерб». Одной из самых распространенных ошибок студентов, начинающих освоение теории риска, является смешивание понятия разных терминов, таких, например, как «риск» и «вероятность». Важно отличать вероятность неблагоприятного события и риск от неблагоприятного события.

Рассмотрим основополагающие термины из рискологической концепции: опасность, безопасность и вероятность неблагоприятного события. К сожалению, экологическое законодательство откликается на научные тенденции в рискологической концепции с некоторой задержкой, поэтому приходится опираться на определения, принятые у большинства авторов, работающих в этой области.

В связи с тем, что риск часто определяют как количественную меру опасности, важно правильно понимать этот термин. Несмотря на то, что он всем нам интуитивно поня-

тен, студенты часто испытывают затруднения при его формулировании. Приведём определения.

Опасность — совокупность свойств фактора среды обитания человека (или конкретной ситуации), определяющих их способность вызывать неблагоприятные для здоровья эффекты при определенных условиях воздействия.

Опасность — это способность химического, физического, биологического агента или совокупности определенных факторов наносить вред живому организму, существующая независимо от условий воздействия. Руководство по оценке риска для здоровья населения при воздействии химических веществ, загрязняющих ОС.

Многие авторы считают, что экологическая опасность это *ситуация* в окружающей среде, в которой при определенных условиях возможно возникновение нежелательных событий, явлений или процессов, воздействие которых на окружающую среду и человека может привести к ухудшению состояния окружающей среды, отклонению здоровья человека от среднестатистического значения.

Словарь терминов МЧС, 2010, определяет экологическую опасность как *угрозу нарушения природных условий*, происходящих вследствие деятельности человека или в

результате стихийных бедствий, которые могут: привести к ухудшению здоровья людей; снизить потенциальные возможности активной производственной деятельности; ухудшить условия для культурного развития общества и духовной жизни человека.

Понятийно-терминологический словарь «Гражданская защита» определяет термин «экологическая опасность» как состояние, угрожающее жизненно важным интересам личности, обществу и окружающей среде в результате антропогенных и природных воздействий на нее.

В ГОСТ Р 54906-2012: Системы безопасности комплексные. Экологически ориентированное проектирование. Общие технические требования написано, что экологическая опасность это существующая возможность нанесения экологического вреда защищаемому объекту.

В ряде случаев пространственную и временную зависимости вероятности проявления опасности можно рассматривать отдельно друг от друга. Тогда, в соответствии с теоремой умножения вероятностей, вероятность опасности  $P$  можно представить в виде произведения:

$$P = P_S \cdot P_T, \quad (2)$$

где  $P_S$  и  $P_T$  — соответственно вероятности опасности, зависящие от пространственных и временных характеристик.

В других случаях опасность проявляется в определенных обстоятельствах, при осуществлении совокупности некоторых событий  $S_1, S_2, \dots, S_n$ . Тогда ее вероятность может быть выражена с помощью формулы полной вероятности:

$$P = \sum_{i=1}^n P_{(G/S_i)} \cdot P_{(S_i)}, \quad (3)$$

где  $P_{(G/S_i)}$  — условная вероятность опасности  $G$ , то есть вероятность, проявляющаяся при условии совершения некоторого события  $S_i$ ,

$P_{(S_i)}$  — вероятность этого события,

$n$  — количество рассматриваемых событий.

Как можно видеть, термин «экологическая опасность», как и «риск» является сочетанием вероятности реализации неблагоприятного события и ожидаемых от этого последствия. Понятно, что чем выше вероятность, например, экстренной остановки атомного реактора, и чем больше зона возможного радиоактивного поражения местности в случае нештатной ситуации, тем выше мы оцениваем опасность данного технического объекта. Однако

опасность, в отличие от риска, невозможно ни рассчитать, ни оценить. Не существует и единиц измерения опасности.

Одной из основных целей работы экологов является обеспечение экологической безопасности населения. Но можно ли определять безопасность как отсутствие опасности? По этимологии слова да, однако, термин «безопасность» утвердился с другим смыслом. Посмотрим, как его определяют.

Экологический портал СПб: экологическая безопасность — состояние защищенности природной среды и жизненно важных интересов человека от возможного негативного воздействия хозяйственной и иной деятельности, чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера, их последствий.

Энциклопедия РВСН: экологическая безопасность — состояние защищенности определенного объекта(ов) от экологически неблагоприятных факторов, источником которых выступают ОС, человек, общество. В качестве объекта могут выступать предприятия промышленности, транспорта.

Безопасность вообще определяется как способность предмета, явления или процесса сохранять свои основные характеристики, параметры, сущность при патогенных,

разрушающих воздействиях со стороны других предметов, явлений и процессов. В качестве единиц измерения безопасности предлагается использовать показатели, характеризующие состояние здоровья человека и состояние (качество) окружающей среды.

К основным *объектам* защиты или безопасности относятся:

- человек — его жизнь и здоровье;
- личность — ее права и свободы;
- объекты техносферы — их полезные свойства для человека и необходимость исключения возможности негативных воздействий с их стороны;
- организации — их существование и развитие;
- общество — его материальные и духовные ценности;
- государство — его конституционный строй, суверенитет и территориальная целостность;
- нация — ее жизненно важные интересы;
- человечество — возможность продолжения его прогрессивного развития;
- природная среда (включая биосферу) и природные ресурсы — их сохранение как условия устойчивого развития человечества, благополучия будущих поколений.

Основными *субъектами* безопасности являются:

- сам человек;
- организации (например, правозащитные организации, Комитет солдатских матерей);
- субъекты Федерации;
- государство (в лице государственных органов);
- наднациональные органы.

Главным объектом и субъектом безопасности сегодня провозглашается *человек* — самое ценное, уязвимое, но и наиболее опасное для себя и среды обитания на Земле существо. Русский ученый Владимир Иванович Вернадский выдвигал идею ноосферы — гармоничной планетарной биосферы, сопряженной с интеллектуальным потенциалом человечества. Исходил из того, что человеческий фактор становится доминантой в развитии биосферы, а человеческой деятельности — в эволюции Земли.

Основная цель интеграции понятия «экологический риск» в проблемы обеспечения экологической безопасности состоит в том, чтобы:

- по уровню ЭР *оценивать приемлемость* и чрезмерную опасность видов деятельности, связанных с возможными аварийными ситуациями, имеющими неблагоприятные последствия для ОС;

— обоснованно осуществлять процедуры экологического *аудирования*, экспертизы, сертификации и пр., адекватно оценивать экологическую опасность и ответственность за возможный ущерб ОС;

— осуществлять *управление ЭР*, добиваясь снижения цены ЭР при заданных ограничениях на затраченные ресурсы;

— осуществлять *ранжирование* неблагоприятных экологически воздействий по реальной и прогнозируемой экологической опасностям; ранжирование территорий и групп населения по величине ЭР;

— использовать категорию ЭР в качестве основы для *принятия решений* по вопросам обеспечения экологической безопасности, в том числе на основе принятия правовых актов, распорядительных и нормативно-методических документов;

Понятие риска сочетает в себе, как минимум, две вероятности: вероятность *реализации* неблагоприятного воздействия и вероятность *поражения, потерь*, нанесенных этим воздействием объектам ОС и населению. Риск означает вероятность возникновения конкретного эффекта в течение определенного времени или при определенных обстоятельствах.

## Литература по разделу 2

### Основная

1. Ваганов П.А., Им М.-С. Экологические риски. Учебное пособие. СПб.: Изд-во СПбГУ. 2001. — 152 с.
2. Колесникова Е.В., Смирнова А.В., Сорокина М.С., Денисова Ю.А. Оценка влияния техногенных объектов на качество окружающей среды с использованием рискологической концепции. 7-я Всероссийская научно-практическая конференция с международным участием «Экологические проблемы промышленных городов», Саратов, СГТУ им. Гагарина Ю.А. 2015.
3. Музалевский А.А., Карлин Л.Н. Экологические риски: теория и практика. Министерство науки и образования Российской Федерации, Российский государственный гидрометеорологический университет. — Санкт-Петербург: РГГМУ, 2011. — 448 с.
4. Фрумин Г.Т. Техногенные системы и экологический риск. Учебное пособие для вузов. – СПб: СпецЛит, 2016. — 137 с.

## Дополнительная

1. Ваганов П.А. Человек. Риск. Безопасность. СПб.: Изд-во СПбГУ. 2002.
2. Diuray E. J., Maranto A. R. Assessing the Status of Risk-Based Approaches for the Prioritization of Federal Environmental Spending. P. 16.
3. Dzuray E. J., Maranto A. R. Assessing the Status of Risk-Based Approaches for the Prioritization of Federal Environmental Spending// Federal Facilities Journal. 1999. № 5 ([http:// www.research, urabc.edu/raaranto/fedfac.html](http://www.research.urabc.edu/raaranto/fedfac.html). P. 1-16).
4. Schierow Linda-Jo. Environmental Risk and Cost-Benefit Analysis: A Review of Proposed Legislative Mandates, 1993-1998//<http://www.cnie.org/nle/rsk-24.html>. 1999. P. 1-10.

## Контроль полученных знаний

### *Контрольные вопросы по разделу 2*

1. Понятие риска и его толкование. Современные подходы к определению термина «риск». История формирования науки о риске.

2. Двумерное определение риска при его количественном оценивании.
3. Экологический риск и его сущность. Основные направления его толкования. Обосновать необходимость применения данного понятия при обеспечении экологической безопасности.
4. Опасность, экологическая опасность. Основные факторы экологической опасности. Источники и последствия экологической опасности.
5. Безопасность: субъекты и объекты. Понятия «опасность» и «безопасность», раскрыть суть, сопоставить.
6. Риск, опасность и вероятность: раскрыть суть понятий, сопоставить.
7. Сходство и отличие понятий «опасность» и «риск».
8. Сходство и отличие понятий «вероятность» и «риск», «ущерб» и «риск».
9. Основная цель интеграции понятия риска в проблемы обеспечения экологической безопасности.

*Расчетно-графическая работа 1. Анализ опасных процессов и явлений в России с использованием рискологической концепции*

Цель работы:

Ознакомиться с основными количественными характеристиками риска и выявить наиболее опасные явления и процессы в РФ.

Основные задачи:

1. Выделить наиболее опасные явления и процессы, выбор обоснуйте.

2. Дать анализ, безопасность каких явлений и процессов обеспечивается или может обеспечиваться в РФ, каким образом.

3. Анализируя все приведенные виды риска (природный, социальный, экономический) определить наиболее проблемные явления и процессы РФ.

4. Обосновать ответ, согласны ли Вы с данными таблицы?

Исходные данные для выполнения работы взять из таблицы 1, где приведена сравнительная характеристика природного, социального и экономического рисков и ущерба на территории России. Здесь среднесрочный риск определен для отдельных групп населения и объектов

хозяйства (поселения, земельные угодья и т.п.), находящихся в зонах возможного поражения оцениваемым процессом. Итоговые интегральные значения социального, индивидуального и экономического рисков от природных опасностей определены для всей территории России. Для дальнейшего анализа выбрать из таблицы опасные процессы и явления согласно своему варианту (вариант определяется по Приложению Б).

Вариант 1: Землетрясения, наводнения, карст и суффозия.

Вариант 2: Цунами, оползни и обвалы, природные пожары.

Вариант 3: Лавины, сели.

Вариант 4: Переработка берегов морей и водохранилищ, сильные морозы и метели, засухи.

Вариант 5: Ураганы и смерчи, геокриологические процессы, подтопление территорий, эрозия плоскостная и овражная.

Таблица 1 –Характеристика природного, социального и экономического рисков для РФ

Опасные процессы и явления	Возможный разовый ущерб			Среднегодулетний риск <sup>1</sup>		
	Социал., тыс.чел.		Эконом., млрд дол.	Социал., чел./год	Индивид., 1/(чел.год) ·10 <sup>-6</sup>	Эконом., млрд дол./год
	Погибших	Пострадавших				
Землетрясения	>50	>100	20-25	80	3,3	1-1,5
Цунами	1-3	1-5	0,5-1	0,2	2,8	0,003
Наводнения	0,2	>100	1-1,5	1-2	1,1	3-4
Оползни и обвалы	0,1	30-50	0,5-1	1-2	0,125	1,5-2
Лавины	0,1	0,5	0,01	7-10	1,7	0,01
Природные пожары	0,2	3-5	0,5-0,7	1-2	0,59	0,136
Сели	0,3	2-10	0,1	1-2	0,44	0,001
Карст, суффозия	>10	>100	0,5	—	—	1-1,5
Переработка берегов морей и водохранилищ	0,02	5-10	0,1-0,5	1-2	0,18	2,5-3
Сильные морозы, метели	0,2	10-50	0,01	10-40	0,16	1-2
Ураганы, смерчи	0,02	5-10	0,05	1-5	0,12	0,5-0,7
Подтопление территорий						2,5-3
Эрозия плоскостная и овражная						4
Эрозия речная						2
Геокриологические процессы						0,6-0,9
Просадки лесов						0,4
Засухи						0,1-0,3
Итого (средние значения)				118	0,8	20-26

### Раздел 3. Регулирование риска в схеме управления природно-техническими системами

Тема 1. Управление природно-техническими системами через концепцию устойчивого развития и приемлемого риска. Управление риском.

Традиционная техника безопасности базируется на категорическом положении — обеспечить безопасность, не допустить никакой аварии. Как показывает практика, такая концепция неадекватна законам техносферы. Требование абсолютной безопасности, подкупающее своей гуманностью, может обернуться трагедией для людей потому, что обеспечить нулевой риск в действующих системах невозможно.

Современный мир отверг концепцию абсолютной безопасности и пришел к концепции приемлемого (допустимого) риска, суть которой в стремлении к такой безопасности, которую готово принять общество в данный период времени. Восприятие общественностью риска и опасностей субъективно. Люди очень эмоционально реагируют на редкие события, сопровождающиеся большим количеством единовременных жертв. В то же время частые

события, в результате которых погибают единицы или небольшие группы людей, не вызывают столь напряженного отношения. Ежедневно на производстве погибает 40-50 человек, в целом по стране от различных опасностей лишаются жизни более 1000 человек в день. Но эти сведения менее впечатляют, чем гибель 5-10 человек в одной аварии или каком-либо конфликте. Это необходимо иметь в виду при рассмотрении проблемы приемлемого риска. Субъективность в оценке риска подтверждает необходимость поиска приемов и методологий, лишенных этого недостатка. По мнению специалистов, использование риска в качестве оценки опасностей предпочтительнее, чем использование традиционных показателей.

В основе управления риском лежат принципы оптимизации соотношений *выгоды* и *ущерба*. Стратегическая цель управления риском — стремление к повышению уровня благосостояния общества при обязательном условии: никакая практическая деятельность не может быть оправдана, если выгода от нее не превышает вызываемого ею ущерба (оправданность практической деятельности). Сформулируем эти принципы.

*1-й принцип* постулируется в одном из важнейших государственных документов России "Концепция перехода

РФ к устойчивому развитию", в котором он сформулирован следующим образом "... *никакая хозяйственная деятельность не может быть оправдана, если выгода от нее не превышает вызываемого ущерба*".

Подпринцип 1 (А). Деятельность, при которой отдельные индивидуумы подвергаются чрезмерному риску, не может быть оправдана, даже если эта деятельность выгодна для общества в целом.

Подпринцип 1 (Б). Члены общества *добровольно соглашаются на наличие в их жизни* определенного, не превышающего чрезмерного уровня, риска от той или иной деятельности, которая требуется для удовлетворения их материальных и духовных потребностей.

Эти подпринципы требуют введения понятия "чрезмерный уровень риска", которое в последнее время получило широкое распространение в практической деятельности по обеспечению безопасности. Его введение основано на аксиоматической формулировке понятия о предельно допустимом уровне (ПДУ) риска для *индивидуума*.

ПДУ риска должен быть настолько низким, чтобы это не вызывало какого-либо беспокойства *индивидуума*. Соответственно, установление конкретного численного значения для ПДУ - это, в первую очередь, социальная

проблема, решение которой входит в компетенцию социальных наук и политики.

*2-й принцип* — Принцип оптимизации защиты от опасности.

Тактическая цель управления риском — стремление к увеличению среднестатистической продолжительности предстоящей *жизни* (СППЖ), в течении которой личность может вести полноценную и деятельную жизнь в состоянии физического, душевного и социального благополучия (оптимизация защиты).

*3-й принцип* — Принцип региональности.

Политика в области управления риском будет эффективной и последовательной только в том случае, если в управление риском включен *весь совокупный спектр существующих в регионе опасностей* и вся информация о принимаемых решениях в этой области без каких-либо ограничений доступна самым широким слоям населения (региональный императив).

*4-й принцип* — Принцип экологического императива.

Политика в области управления риском должна реализовываться в рамках строгих ограничений техногенного *воздействия на природные экосистемы* (экологический императив).

## Тема 2. Количественная оценка экологического риска.

Как было сказано выше, оценка опасности с помощью риска в различных сферах уже давно разрабатывается учёными. Как методические подходы, так и практические аспекты активно развиваются и с настоящее время, существует множество работ на эту тему. Однако нужно выделить одно из важнейших свойств рискологической концепции, это возможность рассчитать риск, то есть оценить его количественно. Именно это позволяет сравнивать риски для различных техногенных систем, ранжировать факторы опасности, нормировать риск, и, в конечном итоге управлять им. Методики по расчёту риска столь разнообразны, потому что они хотя и служат одной цели, созданы для совершенно разных техногенных систем. Рассмотрим основные современные показатели количественной оценки экологического риска.

### *Техногенный риск*

Почти все виды риска связаны между собой. Природный, экологический, экономический, социальный и пр. Экологический риск невозможно исследовать отдельно от

техногенного. Техногенный риск, при определенном стечении обстоятельств, может перейти в экологический (авария на опасном объекте, повлекшая за собой загрязнение компонентов окружающей среды). В то же время экологический риск может повлечь за собой техногенный (деградация окружающей среды, нехватка чистой воды может увеличить социальное напряжение в обществе, привести к забастовкам или оттоку рабочей силы, так называемой текучке кадров, что, как известно, первый предвестник аварий на производстве). Техногенный риск является обобщенной характеристикой возможности реализации опасности в техногенной сфере, определяемая через *вероятность* возникновения *техногенной аварии* или катастрофы и математическое ожидание негативных последствий от них. При определении показателей техногенного риска используют критерии *прочности, ресурса, надежности, живучести*, а также данные по *ущербам* - людям, объектам техносферы и окружающей среды. Источниками техногенного риска являются отказы техногенных систем, ошибки операторов и персонала (человеческий фактор), опасные природные процессы. Для снижения техногенного риска применяются комплексные методы — построение систем защит и барьеров для развития техногенных аварий

и катастроф, проведение диагностики и мониторинга ТС и операторов, применение сил и средств предупреждения и локализации чрезвычайных ситуаций техногенного характера.

### *Индивидуальный риск*

Одним из важнейших, может быть главным свойством понятия «риск» является возможность его нормировать. Благодаря этому в России, как и за рубежом, существуют общепринятые нормы опасности, которых предприятия должны придерживаться любой ценой. Наиболее распространенным во всем мире способом нормировать опасность является нормирование индивидуального риска. В научной литературе и в нормативных документах связанных с темами экологической безопасности, пожарной, гражданской, пассажирской, военной и т.д. применяются разные термины. Однако нужно понимать, что часто речь идет именно о индивидуальном риске. Рассмотрим это чрезвычайно распространенное понятие.

*Индивидуальный риск* — частота поражения отдельного индивидуума в результате воздействия исследуемых факторов опасности. Индивидуальный риск рассчитывается по формуле:

$$R_{\text{ind}} = \frac{n}{N}, \quad (4)$$

где  $n$  — число реализованных неблагоприятных случаев,  $N$  — возможное число событий.

Характеристика опасности в разных сферах деятельности в виде индивидуального риска удобна тем, что она не зависит объема исследуемой выборки. Например, на 28.05.2020 количество погибших от коронавируса COVID-19 в США составило 102 346 человек, а в Италии — 33 072 человек, т.е. в три раза меньше. Но означает ли это, что Италия в меньшей степени пострадала от пандемии? Или это означает, что в Италии просто меньше количество населения? Рассчитанный по формуле 4 индивидуальный риск для США и Италии составил 0,000312 и 0,000548 соответственно. Таким образом индивидуальный риск от коронавируса (при условии сохранения тенденции) в Италии выше, чем в США в 1,76 раз. Индивидуальный риск рассчитывается за определенный период времени, как правило, он составляет один год.

### *Коллективный риск*

Для характеристики опасности для работников предприятий или населения используется понятие «коллективный риск». *Коллективный риск* — ожидаемое количество смертельно травмированных в результате возможных аварий за определенный период времени. Есть разные подходы к расчетам данного вида риска в зависимости от характера опасности: техногенной, пожарной или при оценке риска здоровью. В общем виде для плановой системы координат (X и Y) коллективный риск рассчитывается по формуле:

$$R_{\text{coll}} = \sum_{i=1}^k N_i \cdot \lambda_i, \quad (5)$$

где  $\lambda$  (1/год) — частота реализации сценария  $i$ ,

$N_i$  — ожидаемое количество погибших при сценарии  $i$ , характеризующимся вероятностной зоной поражения с учетом распределения субъектов  $N_{(x,y)}$  на рассматриваемой территории  $P_{(x,y)}$ ,

$k$  — число расчетных сценариев возникновения и развития аварии, при которых возможны человеческие жертвы.

Для оценки опасности событий, которые могут оказывать воздействие на группу людей в конкретном месте

принято рассчитывать коллективный риск. Так, например при выбросе загрязняющих веществ в результате аварии или взрыве последствия определяются *количеством пострадавших*. Следовательно, необходим учет количества людей, находящихся в вероятностных зонах поражения. Данная величина может быть охарактеризована распределением персонала (или населения) на рассматриваемой территории и для произвольного момента времени также является вероятностной величиной.

### *Социальный риск*

Для характеристики и оценки опасности для большого количества людей (сотрудников предприятия, населения) в практику расчетов риска введён термин «социальный риск». Употребляется он, как правило, для опасных объектов (газопровод, автомобильные заправочные станции) или для вида деятельности повышенной опасности (пожарные риски).

Социальный риск это зависимость частоты событий (F), в которых пострадало на том или ином уровне число людей (N), больше определенного. Например, для объекта социальный пожарный риск принимается равным частоте

возникновения событий, ведущих к гибели 10 и более человек.

Традиционно социальный риск представляют в виде графика ступенчатой функции, так называемой F/N диаграммы, задаваемой формулой:

$$F_{(x)} = \sum_{j=1}^{N(x)} \lambda_j \quad (6)$$

На рисунке 5 можно видеть F/N диаграмму и кривую приемлемого социального риска в общем виде. С такой диаграммы можно снять информацию о частоте поражения любого количества человек (1) и сравнить эти данные с кривой приемлемого социального риска (2). На рисунке 6 приведен пример рассчитанных F/N кривых для нефтепровода при различных сценариях аварии.

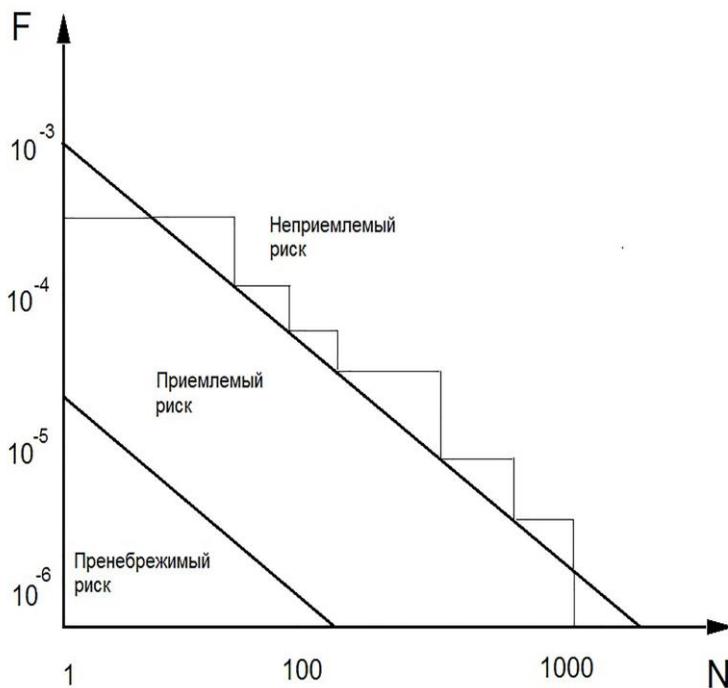


Рисунок 5. F/N диаграмма и кривая приемлемого социального риска.  $F$  – частота аварий, с числом смертей  $N$  и более человек ( $\text{год}^{-1}$ ).  $N$  – количество погибших, (чел.).

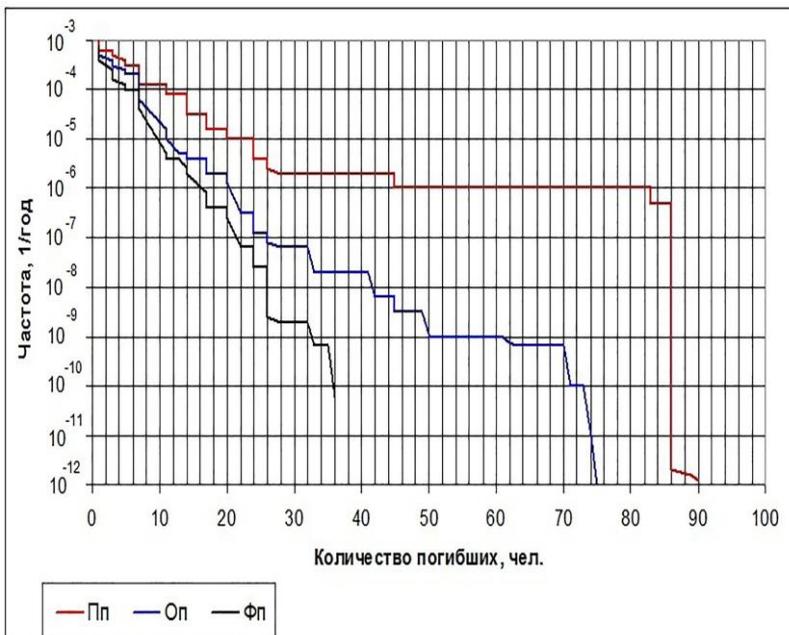


Рисунок 6. F/N диаграмма распределения коллективного риска при сценариях аварии на нефтепроводе. Объемные пожары, огненные шары — (Оп), площадные пожары — (Пп), факельные пожары — (Фп).

### *Потенциальные риск*

Невозможно контролировать ситуацию, сложившуюся на опасном объекте, без расчета потенциального риска. *Потенциальный риск* представляет собой *пространственное* распределение частоты реализации негативного воздействия определенного уровня.

$$R(x, y) = \sum_i^j \lambda_j \cdot P_j(x, y) \quad (7)$$

где  $R(x, y)$  — поле потенциального риска,  
 $\lambda_j$  (1/год) — частота реализации сценария аварии,  
 $P(x, y)$  — вероятностная зона поражения.

Потенциальный риск можно выразить и через коллективный риск:

$$F = \int_s N(x, y) \cdot R(x, y) \quad (8)$$

где  $F$  — коллективный риск,  
 $N(x, y)$  — распределение персонала или населения на рассматриваемой территории,  
 $R(x, y)$  — поле потенциального риска.

Потенциальный риск удобно картировать, получая таким образом пространственное распределение опасности по территории. На рисунке 7 представлен пример расчёта поля потенциального риска для опасного производственного объекта, приведена шкала с численным выражением риска. Для создания такой карты необходимо проведение

большого числа расчетов для каждой точки территории, она позволяет планировать деятельность в безопасных зонах и сокращать присутствие людей в опасных. График на рисунке 8 иллюстрирует динамику потенциального риска по длине нефтепровода при аварии, где можно видеть распределение потенциального риска в плане.

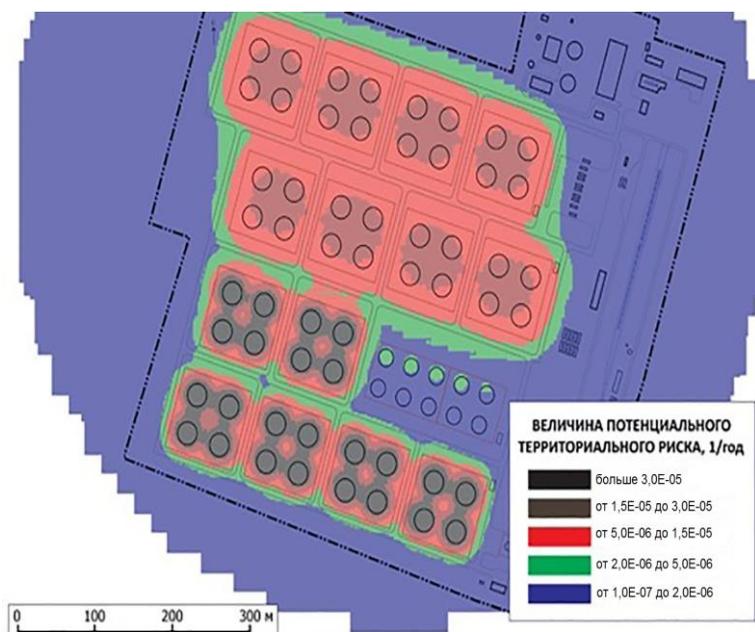


Рисунок 7. Распределение потенциального риска для опасного производственного объекта.

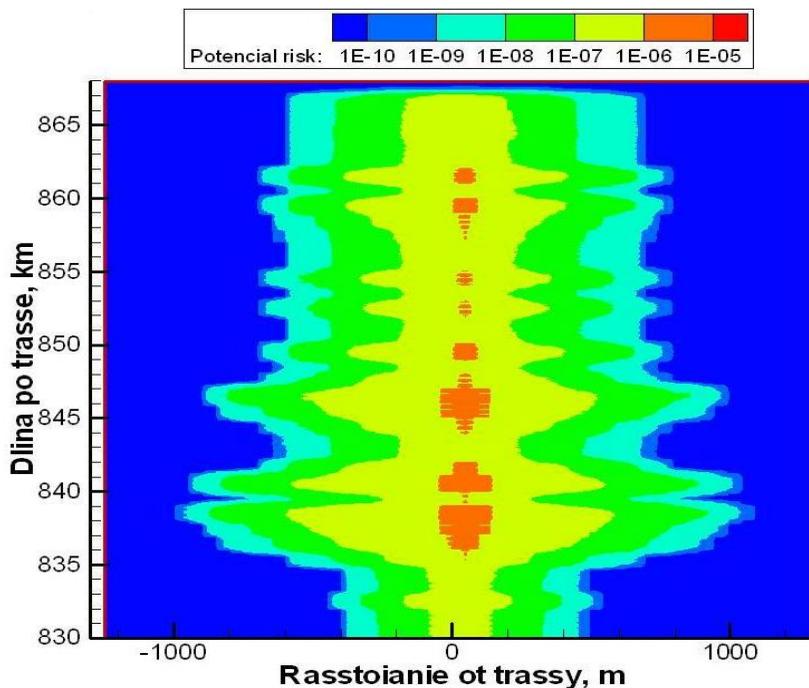


Рисунок 8. Поле трубопровода потенциального риска гибели человека

Регулирование риска невозможно без информационного сопровождения. На рисунке 9 представлена иллюстрация влияния компенсирующих мероприятий на зависимость потенциального риска гибели людей  $Rn$  (1/год) от расстояния до оси трубопровода  $r$  (м) при авариях на участке нефтепровода. Как можно видеть, после проведения всех компенсирующих мероприятий риск для населен-

ного пункта, находящегося на расстоянии 27 от нефтепровода, составит значение менее  $10^{-8}$ .

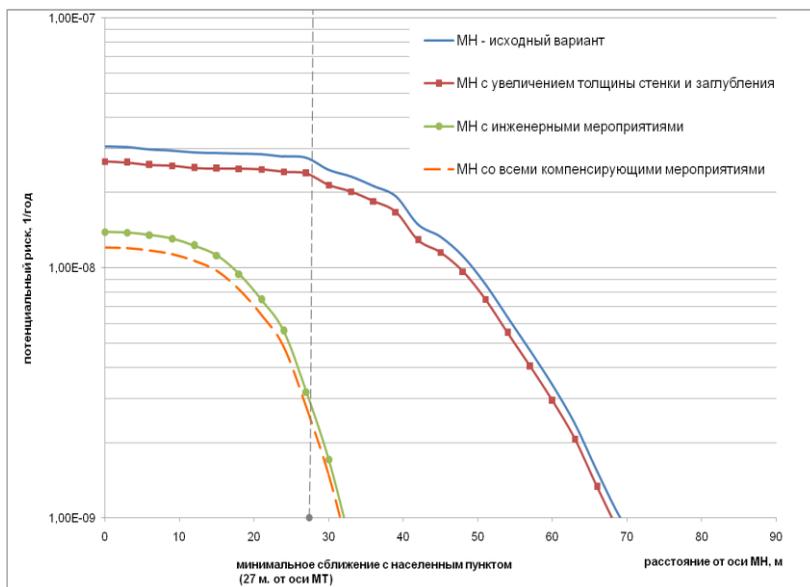


Рисунок 9. Влияние компенсирующих мероприятий на зависимость потенциального риска гибели людей от расстояния до оси трубопровода при авариях на участке магистрального нефтепровода.

### Тема 3. Основные нормативные уровни экологического риска.

Как было сказано выше, расчеты экологического риска не имеют никакой ценности без их нормирования. Основные нормативные уровни экологического риска приняты мировой общественностью и практически во всех странах мира формулируются следующим образом.

- *Приемлемый ЭР* — это риск, уровень которого оправдан с точки зрения как экологических, так и экономических, социальных и других проблем в конкретном обществе и в конкретное время.
- *Предельно допустимый ЭР* — максимальный уровень приемлемого экологического риска. Он определяется по всей совокупности неблагоприятных экологических эффектов и не должен превышать независимо от интересов экономических или социальных систем.
- *Пренебрежимый ЭР* — минимальный уровень приемлемого экологического риска, находится на уровне флуктуаций уровня фонового риска или определяется как 1% от предельно допустимого экологического риска.

- *Фоновый риск* — это риск, обусловленный наличием эффектов природы и социальной среды обитания человека.

Численное выражение области недопустимых, допустимых и пренебрежимо малых рисков варьируют в разных странах и для разных видов деятельности. Однако в общем виде их можно выразить следующим образом (как можно видеть, здесь приводятся значения описанного выше индивидуального риска).

- область недопустимых рисков ( $R_{инд} > 10^{-3} \text{ год}^{-1}$ ),
- область допустимых рисков ( $5 \cdot 10^{-5} < R_{инд} < 10^{-3} \text{ год}^{-1}$ ),
- область пренебрежимо малых рисков ( $R_{инд} < 5 \cdot 10^{-5} \text{ год}^{-1}$ ),

Профессиональный риск для ряда промышленных профессий в Англии и США находится на уровне от  $2,7 \cdot 10^{-3}$  до  $8,5 \cdot 10^{-5} \text{ год}^{-1}$ , таблица 2.

Таблица 2 — Риски различных видов деятельности

Вид деятельности	Вид источника опасности	Диапазон средних частот аварий в год
Транспортировка	Автомобильный транспорт	$10^{-8} — 10^{-5}$
	Водный транспорт	$10^{-9} — 10^{-3}$
	Железнодорожный транспорт	$10^{-6} — 10^{-5}$
	Трубопроводный транспорт	$10^{-7} — 10^{-4}$
Хранение	—	$10^{-7} — 10^{-5}$
Переработка	—	$10^{-6} — 10^{-5}$

### *Концепция приемлемого риска*

Как уже упоминалось выше, человечеству пришлось отказаться от концепции нулевого риска. Практически любой вид антропогенной деятельности немедленно вызывает риск: экологический, технический, природный, социальный, экономический. «Вся жизнь — управление рисками, а не исключение рисков» — сказал бывший глава Citicorp Banking Corporation Уолтер Ристон, а русский писатель И.А. Бунин еще в начале XX века заметил: «Больше всех рискует тот, кто никогда не рискует». Сейчас вся мировая

общественность придерживается концепции не нулевого, а приемлемого риска, то есть риска невысокого и оправданного. Однако определение значения такого риска весьма проблематично и связано с такими аспектами, как экономические, моральные, географические, исторические и пр. Рассмотрим проблематику оценки приемлемого риска с помощью иллюстрации на рисунке 10. Как видно из рисунка, при увеличении затрат на безопасность технических систем снижается технический, а значит и экологический риск. Но такая тенденция сохраняется лишь до определенного предела. Финансовые средства являются ресурсом исчерпаемым и при дальнейшем их использовании начинает расти другой вид риска — социально-экономический. Таким образом, область приемлемого риска должна поддерживаться достаточными, но продуманными затратами на безопасность производственных объектов.

Однако проблематика определения приемлемого риска заключается не только в финансовом вопросе. Так, например, пожарные риски гибели человека очень высокие, это связано с повышенной опасностью этой профессии. Тем не менее, они признаются приемлемыми, в то время как для других видов деятельности такие риски ка-

тегорически неприемлемы. Здесь встает вопрос о том, насколько мотивирован риск для данной сферы.

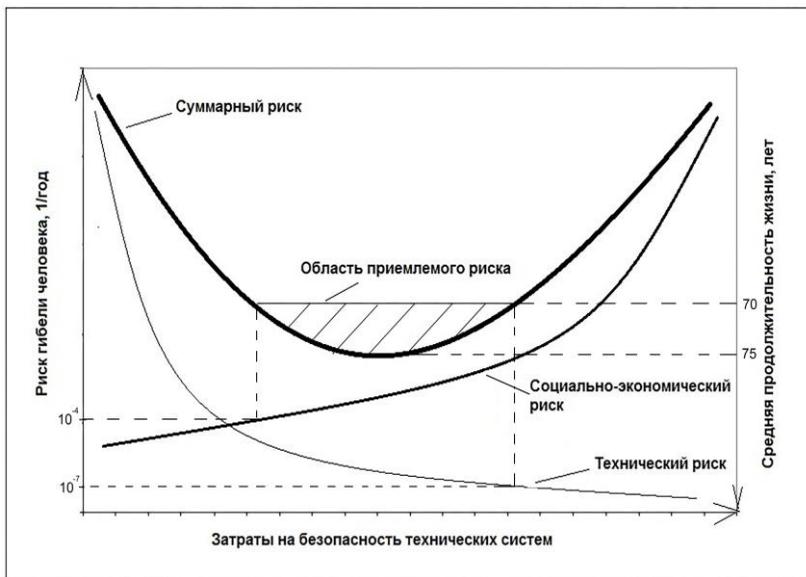


Рисунок 10. Принципиальная схема определения приемлемого риска.

### *Мотивированный и немотивированный риск*

Мотивированный риск может быть весьма высоким и при этом приниматься обществом, в то время как немотивированный риск, пусть даже его невысокие значения, общество принимает очень болезненно. Рассмотрим терминологию.

- *Мотивированный риск.* В случае производственных аварий, пожаров, в целях спасения людей и материальных ценностей человеку приходится идти на риск, превышающий приемлемый. В этом случае риск *считается обоснованным (мотивированным)*.
- Для ряда опасных факторов, например возникающих в случае радиационных аварий, установлены величины мотивированного риска, превышающего приемлемый риск, — «*планируемое повышенное облучение*», допускаемое в исключительных случаях для лиц, участвующих в ликвидации последствий радиационных аварий.
- *Немотивированным (необоснованным)* риском называют риск, *превышающий приемлемый* и возникающий в результате нежелания работников на производстве соблюдать требования безопасности, использовать средства защиты и т.д., что, как пра-

вило, приводит к травмам и формирует предпосылки аварий на производстве.

- Помимо коллективной приемлемости существует также и *индивидуальная приемлемость*, установленная для себя сознательно или неосознанно и являющаяся *балансом между риском и выгодой*. В определённых случаях люди готовы добровольно идти на риск, в 1000 раз больший, чем приемлемый. Решающая роль в принятии такого решения лежит в *психологии* человека.

#### *Фоновый риск*

Как было сказано выше, определение границ приемлемого риска весьма проблематично. Отчасти здесь могут помочь исследования фонового риска — риска, которым характеризуется исследуемая территория вне зависимости от деятельности исследуемого опасного объекта. Фоновые риски обычно спокойно принимаются обществом, а это один из важнейших критериев нормирования. В таблице 3 приведены данные по самым высоким фоновым рискам в Российской Федерации.

Таблица 3 — Фоновые показатели риска в России

Событие	Вероятность смерти, год <sup>-1</sup>
Риск гибели в ЧС природного характера	$1,7 \cdot 10^{-7}$
Риск гибели в результате авиакатастрофы	$3,0 \cdot 10^{-6}$
Риск гибели при пожаре	$1,1 \cdot 10^{-4}$
Риск гибели человека в ДТП	$2,1 \cdot 10^{-4}$
Риск гибели в результате ЧС техногенного характера	$4,8 \cdot 10^{-6}$
Риск гибели в результате ЧС биологосоциального характера	$3,5 \cdot 10^{-8}$

### Литература по разделу 3

#### Основная

1. Башкин В.Н. Экологические риски. Расчет, управление, страхование. Москва. Высшая школа. 2007. 358 с.
2. Биненко В.И., Донченко В.К., Растоскуев В.В. Риски и экологическая безопасность природно-хозяйственных систем: монография/; СПбГУ. - СПб., 2012. — 352 с.

3. Ваганов П. А. Риск смерти и цена жизни // Правоведение. 1999. № 3. С. 67-82.
4. ГОСТ Р 22.1.06-99 «Безопасность в чрезвычайных ситуациях. Мониторинг и прогнозирование опасных геологических явлений и процессов. Общие требования».
5. Порфирьев Б.Н. Управление в чрезвычайных ситуациях: проблемы теории и практики. Итоги науки и техники. Серия "Проблемы безопасности: чрезвычайные ситуации" Т. 1. М.: ВИНТИ, 1991.-204 с.
6. Постановление Госгортехнадзора РФ от 10.07.2001 N 30 "Об утверждении "Методических указаний по проведению анализа риска опасных производственных объектов"

#### Дополнительная

1. Ветошкин А.Г. Надежность технических систем и техногенный риск. Учебное пособие. Пенза: Изд-во ПГУАиС, 2003. - с.: 154.
2. Методическое пособие по прогнозированию и оценке химической обстановки в чрезвычайных ситуациях. — М.: ВНИИ ГОЧС, 1993.

3. Hallenbeck W.H. Quantitative Risk Assessment for Environmental and Occupational Health. Boca-Raton, 1993. 212 p.
4. Kolluru, R. Risk assessment and management handbook Text.: For environmental. health and safety professionals / R. Kolluru, S. Bartell, R. Pit-blado, S. Stricoff. New York : McGraw-Hill, Inc., 1996. - 476 p.
5. Manual of Industrial Hazard Assessment Techniques. Office of Environmental and Scientific Affairs. The World Bank. (Методика Всемирного банка оценки опасности промышленных производств).

### Контроль полученных знаний

#### *Контрольные вопросы*

1. Основные нормативные уровни экологического риска. Принципы определения. Показать взаимосвязь.
2. Техногенный риск. Показать его связь с экологическим риском, привести примеры (не менее трех).
3. Потенциальный риск. Коллективный риск. Индивидуальный риск. Показать их взаимосвязь.

4. Область недопустимых, допустимых и пренебрежимо малых рисков, принципы определения. Фоновые показатели риска в России.
5. Фоновые показатели риска в России, привести числовые значения, пояснить назначение.
6. Концепция приемлемого риска, проблемы и принципы определения приемлемого риска. Показать графически.
7. Количественные показатели риска определения, назначение, формулы.
8. Потенциальный риск, его связь с коллективным риском (формулы). Поле потенциального риска гибели человека от точечного и линейного опасного объекта.
9. Коллективный риск (формула). Построение  $F/N$  диаграммы. Кривая приемлемого социального риска.
10. Понятие индивидуального риска. Способы его оценки.
11. Принципы определения приемлемости риска. Мотивированный и немотивированный риск, привести примеры.
12. Подходы к управлению риском. Основные принципы и критерии управления риском (четыре принципа).

13. Управление риском и страхование. Подход Бернулли.

Примеры применения.

14. Управление риском и страхование. Подход Колумба.

Примеры применения.

### *Контрольная работа 1*

#### *Вариант 1*

Задание 1. Обосновать необходимость применения понятия «риск» при обеспечении экологической безопасности.

Задание 2. Коллективный риск, его связь с потенциальным риском (определения, формулы, анализ).

#### *Вариант 2*

Задание 1. Экологическая опасность (привести не менее трех определений с указанием источника цитирования). Основные факторы экологической опасности. Источники и последствия экологической опасности. Ответ проиллюстрировать примерами.

Задание 2. Индивидуальный риск, определение, формулы, принцип применения данного понятия при обеспечении безопасности.

### *Вариант 3*

Задание 1. «Опасность» и «безопасность», сопоставить понятия. Отдельно описать, в чем сходства и в чем отличия данных понятий.

Задание 2. Техногенный риск. Показать его связь с экологическим риском, привести примеры (не менее трех).

### *Вариант 4*

Задание 1. Сходство и отличие понятий «опасность» и «риск», понятий «вероятность» и «риск». Пояснить на конкретных примерах.

Задание 2. Потенциальный риск, (формула). Поле потенциального риска гибели человека от точечного и линейного опасного объекта (показать графически).

### *Вариант 5*

Задание 1. Концепция приемлемого риска, проблемы и принципы определения приемлемого риска. Показать графически.

Задание 2. Основные нормативные уровни экологического риска. Показать взаимосвязь. Ответ пояснить на конкретных примерах.

*Примерные темы рефератов (эссе, докладов, сообщений)*

1. Гидрометеорологические риски ЕТР.
2. Эволюция понятия «риск» при обеспечении экологической безопасности.
3. Экологическая опасность. Факторы экологической опасности, привести примеры.
4. Способы обеспечения экологической безопасности.
5. «Опасность» и «риск»: сходство и отличие понятий.
6. «Вероятность» и «риск» сходство и отличие понятий.
7. «Ущерб» и «риск»: сходство и отличие понятий.
8. Основная цель интеграции понятия экологический риск в проблемы обеспечения экологической безопасности.
9. Принципы определения приемлемости риска.
10. Восприятие различных видов риска населением. Мотивированный и немотивированный риск.
11. Оценка риска функционирования опасного объекта с использованием матрицы экологического риск.

## Раздел 4. Оценка риска аварий

Оценка риска аварий включает в себя техногенный, социальный и экологический риск. Это обширный, методически хорошо разработанный и законодательно и финансово поддержанный государством пласт учения о риске. В то же время эти расчеты просты и наглядны, поэтому в данном пособии именно на примере аварий проводится обучение расчет и визуализации экологического риска. Кроме того, добыча полезных ископаемых, таких, например, как нефть, газ для России является важным, если не приоритетным видом деятельности. Так на 2019 г. доля нефтегазовых доходов в общих поступлениях доходов федерального бюджета составила 40,8%. Показатель этот один из самых высоких в мире. Для сравнения в Объединённых Арабских Эмиратах, стране, чья экономика началась с нулевого уровня в 1962 г. с обнаружения там запасов нефти, сейчас доля доходов от экспорта нефти составляет лишь 30% и продолжает планомерно снижаться. Однако столь важная для России отрасль экономики до сих пор недостаточно поддерживается методически и организационно, известно, что часто российская сторона прибега-

ет к услугам иностранных компаний для проектно-инженерного сопровождения нефте- и газодобычи. Относится это и к трудоемким и высококвалифицированным работам по расчету и оценке экологического риска при добыче полезных ископаемых. Таким образом, актуальность данного вопроса трудно переоценить при подготовке кадров российских экологов. Составление проектов по расчету и оценке экологического риска начинается еще до начала добычи полезных ископаемых, то есть на этапе проектирования. В случае, если риск окажется слишком высоким, то есть если его рассчитанные значения будут превышать установленные Российским законодательством нормы, должны быть сделаны рекомендации по его снижению. Согласно этим рекомендациям необходимо разработать новый проект и снова провести расчеты риска. Когда экологический риск не будет превышать допустимый, проект будет признан безопасным для окружающей среды и здоровья людей и принят к стадии строительства. Расчёт экологического риска процесс трудоёмкий, требующий работы большого количества квалифицированных специалистов. В рамках нашего курса, продолжительность которого составляет один семестр, такой проект выполнить невозможно, однако мы можем изучить принципиальную

схему анализа экологического риска и освоить современные подходы к его оценке. Эту работу мы проделаем на примере условного нефтепровода (НП), для которого будут показаны все основные этапы расчета и оценки экологического риска. Эта работа будет проделана нами на этапе его *проектирования* НП. Оценка риска на этапе *эксплуатации* НП так же должна регулярно проводиться, она идёт по той же схеме.

Как было описано в первом разделе данного пособия, риск, экологический риск в том числе, сейчас принято рассчитывать как комбинацию вероятности неблагоприятного события и ожидаемого ущерба от этого события. Сейчас исследователями предлагается множество моделей расчета риска, от самых простых, до сложных систем математических уравнений, однако всех их объединяет попытка провести оценку сочетания этих двух показателей. Для оценки риска аварии используется простая на первый взгляд формула:

$$R_{Эн} = \lambda \cdot Пн, \quad (9)$$

где  $R_{Эн}$  — экологический риск,

$\lambda$  — ожидаемая частота сценария аварии  $n$ ,

$Пн$  — ожидаемый ущерб в случае реализации сценария аварии  $n$ .

По формуле 9 риск аварии рассчитывается для *каждого возможного сценария* аварии. Для этого экологам необходимо работать в контакте со специалистами нефтяной промышленности. Большая часть информации должна быть получена от инженеров-нефтяников. Для ознакомления с документацией в таблице 4 приведено описание лишь нескольких аварийных сценариев для нефтепровода НП.

Таблица 4 — Фрагмент таблицы возможных аварий на участке НП.

Сценарий	Вид аварии	Объем	Сезон	Частота события
PLONO1 rupture- 613	Разлив НП при порыве трубопровода в течение 6 часов	нефть: 1 292 м <sup>3</sup> (1142 т) газ: 89 тыс. м <sup>3</sup> (64 т)	любой	«редкое»
PLONO2 leak-613	Разлив НП при проколе трубопровода в течение 14 суток	нефть - 5 578 м <sup>3</sup> (4932 т) газ - 397 тыс. м <sup>3</sup> (287 т)	любой	«редкое»
PLONO41 eak-QRA- fire	Разлив НП при проколе трубопровода в течение 6 часов с возгоранием	нефть - 221 м <sup>3</sup> (195 т) газ - 114 тыс. м <sup>3</sup> (82 т)	любой	«редкое»

И так, согласно формуле 9, для расчета экологического риска нам нужно определить лишь два параметра. Правда, эти параметры нужно определить для каждого километра НП и для каждого сценария аварии, и всё же задача кажется несложной. Первый параметр  $\lambda$  — частота аварии — определяется из статистических данных. Никто не знает своего будущего и неизвестно, когда именно произойдет авария на НП. Для решения этой проблемы делается допущение о сохранении прошлых тенденций на будущее. Так, если для РФ аварии, например по сценарию PLONO2leak-613, происходили в среднем один раз в 19 лет, то ничего не остаётся, как принять, что на проектируемом вами НП такие поломки будут случаться с такой же частотой. Получается, что 50% работы по определению риска проделаны и нам остается только определить параметр  $\Pi_n$  — возможный экологический ущерб при реализации данного сценария аварии. Однако эта работа самая сложная и трудоёмкая. Оценка возможного экологического ущерба от аварии будет рассмотрена детально ниже.

## Тема 1. Оценка экологического ущерба в случае аварии

Оценка возможного ущерба при аварии в российских руководящих документах предписано проводить в четыре этапа, на которых определяются:

- I. Прямые потери,
- II. Опосредованные потери,
- III. Социально-экономические потери,
- IV. Экологический ущерб.

Рассмотрим подробнее состав работ на четвертом этапе, *оценка экологического ущерба*.

На последнем, четвертом этапе оценки ущерба от аварии проводятся расчеты собственно экологического ущерба или иначе платы за загрязнение окружающей среды при авариях. Для этого проводится анализ возможных потерь, характерных для исследуемой местности. Это могут быть нарушения среды обитания малых народов севера, уничтожение редких видов животных и растений, нарушение или приближение к границам ООПТ и пр. Выбор оцениваемых проблем зависит от условий данной местности и от опыта исследователей. На этом этапе часто проводятся исследования методами экспертных оценок,

таких, как метод Делфи и пр. Однако для всех проектов в обязательном порядке проводятся расчеты экологического ущерба для трёх составляющих. Итак, плата за загрязнение ОС при авариях складывается из ущерба от загрязнения:

- водных объектов,
- земли,
- атмосферного воздуха.

Рассмотрим алгоритмы расчета по каждому компоненту ОС отдельно.

Расчет размера вреда, причиненного *водным объектам* проводится по формуле

$$U = K_{вг} \times K_{в} \times K_{ин} \times K_{дл} \times \sum H_i, \quad (10)$$

где  $U$  — размер вреда, руб.,

$K_{вг}$  — коэффициент, учитывающий природно-климатические условия, зависящий от времени года,

$K_{в}$  — коэффициент, учитывающий экологические факторы (состояние водных объектов),

$K_{ин}$  — коэффициент индексации,

$K_{дл}$  — коэффициент, учитывающий длительность негативного воздействия (загрязняющих) веществ на водный объект,

$H_i$  — такса для исчисления размера вреда при загрязнении в результате аварий водных объектов  $i$ -м (загрязняющим) веществом.

Расчет размера ущерба от *загрязнения земель* химическими веществами ведётся по формуле

$$\Pi = \sum_{i=1}^n (\Pi_i \cdot H_c \cdot K_v \cdot K_{z_i} \cdot K_{\varepsilon} \cdot K_{\varepsilon_2}), \quad (11)$$

где  $\Pi$  — плата за ущерб от загрязнения земель одним или несколькими (от 1 до  $n$ ) химическими веществами (тыс. руб.),

$\Pi_i$  — площадь земель, загрязненных химическим веществом  $i$ .

$H_c$  — норматив стоимости сельскохозяйственных земель,

$K_v$  — коэффициент пересчета в зависимости от времени восстановления загрязненных сельскохозяйственных земель,

$K_{z_i}$  — коэффициент пересчета в зависимости от степени загрязнения земель химическим веществом  $i$ ,

$K_{\varepsilon}$  — коэффициент экологической ситуации и экологической значимости территории исследуемого экономического района,

$K_2$  — коэффициент пересчета в зависимости от глубины загрязнения земель.

По произведенным для каждого километра нефтепровода расчетам строятся графики, по которым проводится анализ возможных опасных ситуаций (рисунок 11).

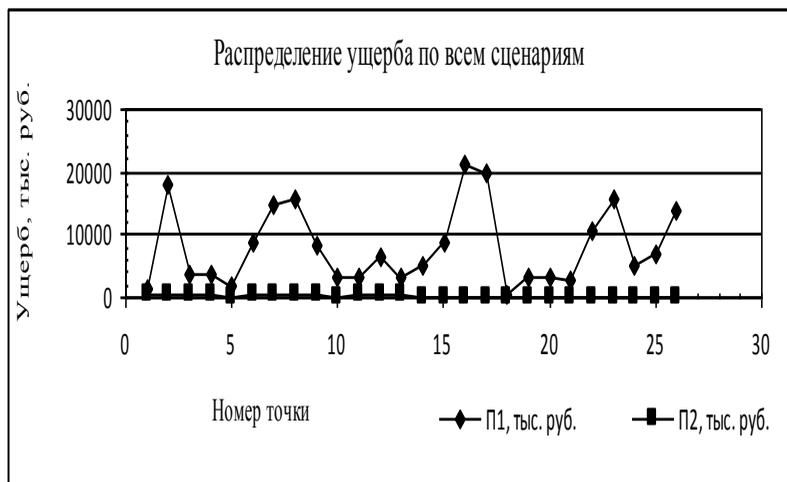


Рисунок 11. Фрагмент графика распределения ущерба от загрязнения земель по двум сценариям.

### *Воздействие на атмосферный воздух*

При аварийном разливе нефтепродуктов происходит испарение легких фракций. Наиболее значительный ущерб происходит при сценарии аварии с возгорании нефти. При горении бензина и дизельного топлива в атмосферный воз-

дух поступают токсичные вещества, такие как оксид углерода, оксиды азота, оксиды серы, органические кислоты, сажа, сероводород, формальдегиды, цианистый водород и другие.

*При отсутствии возгорания* масса выбросов низкомолекулярных углеводородов в атмосферный воздух определяется как

$$M_{oil} = q \cdot F \cdot 10^{-3}, \quad (12)$$

где:  $F$  — площадь поверхности пролива,  $\text{м}^2$ ,  
 $q$  — удельная величина выбросов углеводородов в атмосферу с поверхности нефтепродукта,  $\text{г}/\text{м}^2$ .

*При горении* нефтепродуктов масса выброса каждого загрязняющего вещества рассчитывается как

$$M_i = M \cdot K_a, \quad (13)$$

где:  $M$  — масса сгоревшего нефтепродукта,  $\text{т}$ ,  
 $K_a$  — коэффициенты удельных выбросов в атмосферу при горении нефтепродукта  $\text{т}/\text{т}$ .

Платы за загрязнение атмосферного воздуха тогда определяются следующим образом:

$$Y_a = 5F (C_i \cdot M_i), \quad (14)$$

где  $F$  — площадь поверхности пролива,  $\text{м}^2$ ;

$M_i$  — масса выброса загрязняющего вещества  $i$  в атмосферу, т;

$C_i$  — расчетная ставка платы за выброс 1 тонны вещества  $i$  в пределах установленного лимита, с учетом коэффициентов, руб.

Параметр  $C_i$  в формуле 18 зависит от ряда коэффициентов:

$$C_i = H_i \cdot K_3 \cdot K_{\text{инд}} \cdot K_2 \cdot K_{\text{пр}}, \quad (15)$$

где  $H_i$  — норматив платы за выброс 1 тонны  $i$ -го ЗВ в пределах установленного лимита, руб;

$K_3$  — коэффициент, учитывающий экологические факторы;

$K_2$  — коэффициент за выбросы вредных веществ в атмосферный воздух городов;

$K_{\text{пр}}$  — коэффициент для особо охраняемых природных территорий;

$K_{\text{инд}}$  — коэффициент, установленный законом о федеральном бюджете на соответствующий год.

Далее для каждого сценария аварии проводится суммирование всех четырёх видов экологического ущерба, для анализа так же строятся графики (рисунок 12)

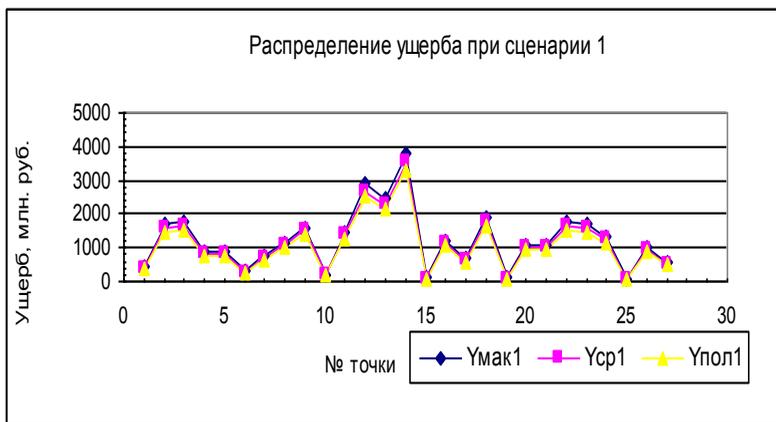


Рисунок 12. Фрагмент графика распределения полного экологического ущерба по длине НП.

Тема 2. Оценка экологического риска на опасных объектах

Таким образом, по формуле 9 экологический риск аварии для проектируемого нефтепровода рассчитывается для каждого сценария аварии и по всей длине НП. Все расчеты снова сопровождаются графиками, как, например, представлено на рисунке 13. При визуальном анализе хорошо видны возможные ошибки, допущенные при расчётах. Кроме того, согласно построенным графикам делают

ся выводы о расположении особо опасных участков НП, проводится анализ причин высокого риска. При регулировании риска именно эти участки НП, выявленные по графикам, будут оцениваться экспертами с особым вниманием. Так, согласно графику на рисунке 13, значения экологического риска по трассе меняются от 10 000 руб./год до более, чем 500 000 руб./год. Как можно видеть, даже на участках, между которыми всего один километр экологический риск может отличаться в десятки и в сотни раз.

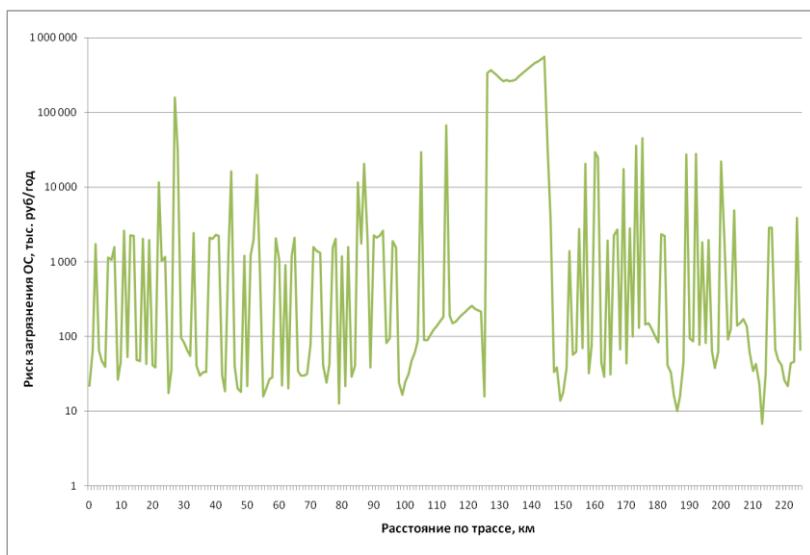


Рисунок 13. Распределение риска  $R_z$  загрязнения ОС по трассе НП.

Однако, анализ графика на рисунке 13 при всей его информативности не даёт возможности ни оценить экологический риск по всей трассе, ни разработать меры по его регулированию. Поэтому для дальнейшей работы в этом направлении рассчитываются и строятся графики распределения суммарной длины участков МН по показателю риска загрязнения окружающей среды. На рисунках 14 и 15 представлены соответственно принципиальная схема составления такого графика и его пример. Здесь же проводится собственно оценивание риска. Согласно нормативам, установленным в России, выделяются «низкая», «средняя» и «высокая» степень риска. Далее проводится ещё большая свертка информации и данные по экологическому риску объединяются по его степеням, рисунок 16. По этому графику и принимается одно из важнейших решений по оценке линейного опасного объекта — НП.

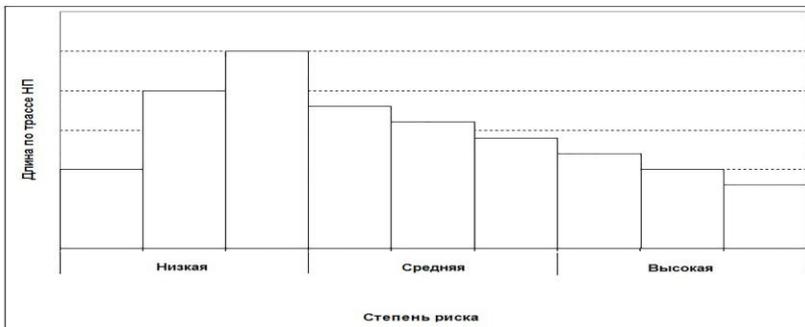


Рисунок 14. Распределение суммарной длины участков трассы  $L_s$  по показателю риска  $R$ .

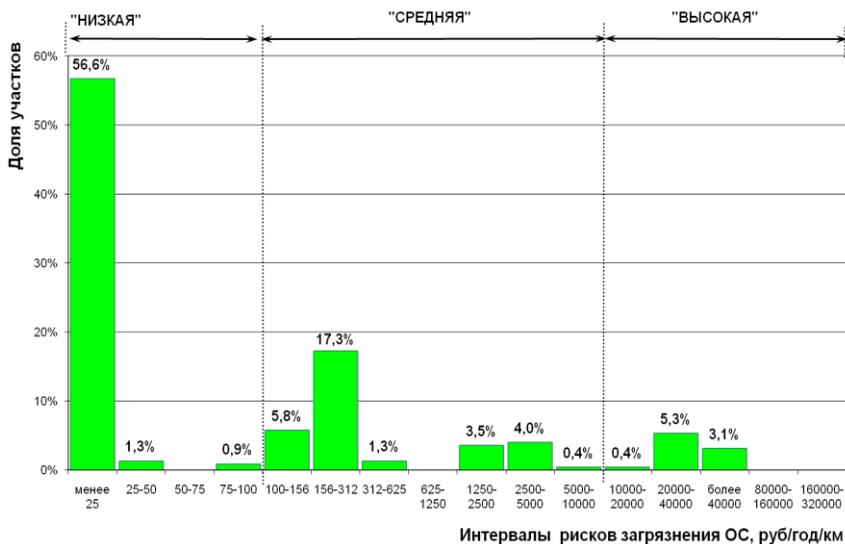


Рисунок 15. Распределение суммарной длины участков НП по показателю риска загрязнения ОС.

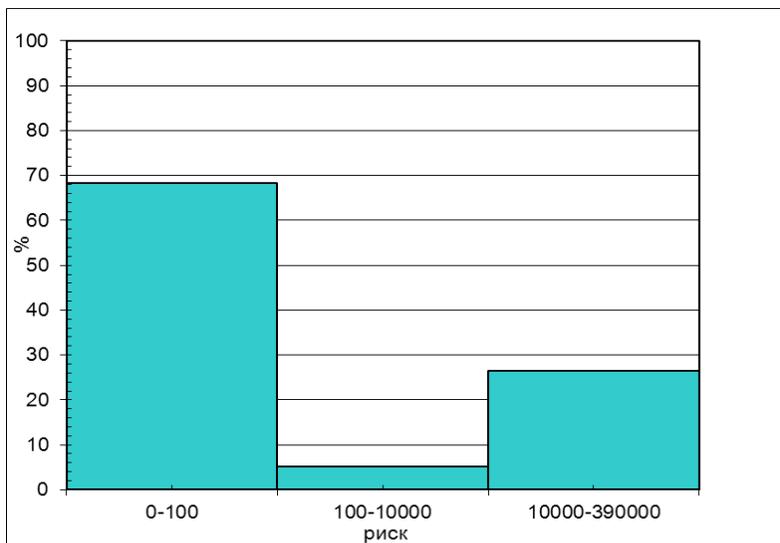


Рисунок 16. Распределение суммарной длины участков МН по показателю риска загрязнения ОС.

## Литература по разделу 4

### Основная

1. Временные рекомендации по разработке планов локализации аварийных ситуаций на химико-технологических объектах. (Госгортехнадзор СССР, 05.07.90).
2. Методика оценки последствий химических аварий (методика «ТОКСИ»), согласованная Госгортехнадзором России (письмо от 03.07.98 № 10-03/342), НТЦ «Промышленная безопасность», 1999.
3. «Методика расчета выбросов от источников горения при разливе нефти и нефтепродуктов» (пр. Госкомэкологии России от 05.03.97 N 90)
4. Порядок определения размеров ущерба от загрязнения земель химическими веществами (Письмо Минприроды России от 27.12.1993 № 04-25/61-5678).
5. Постановление Правительства РФ от 12 июня 2003 года № 344 «О нормативах платы за выбросы...»

6. Постановление Правительства РФ от 28.8.1992 № 632 «Об утверждении Порядка определения платы и ее предельных размеров за загрязнение окружающей природной среды, размещение отходов, другие виды вредного воздействия»
7. РД «Методика определения ущерба окружающей природной среде при авариях на магистральных нефтепроводах» (утв. Минтопэнерго РФ, АК «Транснефть», 1996.)
8. РД «Методическое руководство по оценке степени риска аварий на магистральных нефтепроводах». Утверждено АК «Транс- нефть», приказ от 30.12.99 № 152; согласовано Госгортехнадзором России, письмо от 07.07.99 № 10-03/418.
9. РД 03-496-02 «Методические рекомендации по оценке ущерба от аварий на опасных производственных объектах» (утв. Постановлением №63 от 29.10.2002 Федеральным горным и промышленным надзором России).
10. Колесникова Е.В. Гидрометеорологические факторы геополитического риска для Калининградской области. // Международный научно-исследовательский журнал. ISSN 2227-6017 (ONLINE), ISSN 2303-9868

(PRINT), DOI: 10.18454/IRJ.2227-6017 — №12. 2016 г.

11. Колесникова Е.В., Ерофеева К.А. Региональные факторы риска возникновения техногенных катастроф, Успехи современной науки, №6, т.1, стр.148-152, Белгород, 2016.
12. Колесникова Е.В., Сорокина М.С. Методы обеспечения экологической безопасности при строительстве и функционирования нефтепровода на основе рискологического подхода. Материалы Второй всероссийской научной конференции с международным участием «Окружающая среда и устойчивое развитие регионов», Казань 2013.
13. Федеральный закон от 21.07.1997 г. №116-ФЗ "О промышленной безопасности опасных производственных объектов".

#### Дополнительная

1. Ваганов П.А. Катастрофведение. СПб.: Изд-во СПбГУ. 2003.
2. ГОСТ Р 22.1.06-99 «Безопасность в чрезвычайных ситуациях. Мониторинг и прогнозирование опасных

геологических явлений и процессов. Общие требования».

3. Музалевский А.А., Карлин Л.Н. Экологические риски: теория и практика. Министерство науки и образования Российской Федерации, Российский государственный гидрометеорологический университет. — Санкт-Петербург: РГГМУ, 2011. — 448 с.
4. Постановление Госгортехнадзора РФ от 10.07.2001 N 30 "Об утверждении "Методических указаний по проведению анализа риска опасных производственных объектов".

## Контроль полученных знаний

### *Контрольные вопросы*

1. Опишите основные этапы расчета размера экологического риска аварии.
2. Как проводится оценка прямых и опосредованных потерь при аварии.
3. Какие географические особенности местности влияют на оценку экологического ущерба водным объектам при авариях?
4. Как проводится расчет размера ущерба от загрязнения земель химическими веществами?
5. В чем отличие воздействия на атмосферный воздух при аварии связанной с проливом нефти с возгоранием и без возгорания?
6. Для чего нужно построение графика распределения экологического риска по трассе продуктопровода.
7. Как проводится оценка показателей риска потерь нефти? Как этот риск связан с экологическим?

8. Опишите алгоритм построения и назначение графика распределения суммарной длины участков магистрального нефтепровода по показателю риска загрязнения окружающей среды.
9. Какие вы знаете критерии степени риска аварий на магистральных продуктопроводах РФ?

*Примерные темы рефератов (эссе, докладов, сообщений)*

1. Взрыв нефтяной платформы Deepwater Horizon. Прямые и опосредованные потери.
2. Анализ причин взрыва нефтяной платформы Deepwater Horizon в 2010 г.
3. Разливы нефти на месторождении Новруз, основные составляющие экологического ущерба.
4. Риски разливов нефти в Персидском заливе.
5. Самые крупные аварии в России и мире на нефтеперерабатывающих заводах и трубопроводах, основные тенденции риска.
6. Нефтегазовые катастрофы в результате военных действий.

7. Авария на ТЭЦ в Норильске, 2020 г. Оценка риска за пять минут до аварии.
8. Авария на шахте им. Засядько в Донецке в 2007 г. Оценка социально-экономического ущерба травмирования и гибели персонала.
9. Крупнейшие разливы нефти на суше Красноярского края. Оценка риска на сегодняшний день.
10. Поведение морских разливов нефти: оценка рисков и факторов опасности.

*Расчетно-графическая работа 2. Расчет и оценка экологического риска при проектировании нефтепровода.*

В регионе планируется прокладка магистрального нефтепровода (НП). НП будет проходить по малонаселенной местности, в лесостепной зоне с пересеченным рельефом, с большим количеством водных объектов (рек, ручьев, болот, непересыхающих земель, заливов). По утвержденным в РФ методикам сделать заключительный этап расчёта и оценки риска аварии на НП для двух сценариев: сценарий 1 — гильотинный разрыв трубы, сценарий 2 — образования в трубе свища (отверстия с диаметром до 1 см).

Построить график распределения суммарной длины участков НП по показателю риска загрязнения окружающей среды. Сделать качественную (лингвистическую) оценку распределения экологического риска по трассе. Сделать выводы по исследуемому участку НП о размерах и динамике рисков по длине трассы при различных сценариях аварии.

В качестве исходных данных для расчета риска представлены:

- данные о средней возможной массе потерянной нефти  $L$  (т/км),

- рассчитанные значения по возможным платам за загрязнение окружающей среды от аварии при сценарии 1 —  $N_1$ , тыс. руб. и при сценарии 2 —  $N_2$ , тыс. руб.

ПРИЛОЖЕНИЕ А. Исходные данные к  
расчетно-графической работе 2

Таблица А1 – Вариант 1

№	Участок трассы, км	L, средняя возможная масса поге- рянной нефти, т	Возможные платы за загрязне- ние ОС при аварии, тыс. руб.	
			№1, сценарий 1	№2, сценарий 2
1	0	76,1	2114	103
2	1	232,9	4408	212
3	2	228,6	13928	183
4	3	229	6214	75
5	4	167,9	13752	197
6	5	138,4	4415	88
7	6	125,8	808775	36353
8	7	114,2	8463	233
9	8	102,8	7052	261
10	9	93,5	518925	48470
11	10	158,9	5642	233
12	11	229	9697	282
13	12	188,6	13928	268
14	13	183,5	11460	310
15	14	178	902275	52510
16	15	169	3761	66
17	16	162,9	10578	240
18	17	154,8	745663	46451
19	18	150	9873	261
20	19	143,2	717613	48470
21	20	144,3	6171	303
22	21	134,1	3526	247

Таблица А1 (продолжение)

№	Участок трассы, км	L, средняя возможная масса потерянной нефти, т	Возможные платы за загрязнение ОС при аварии, тыс. руб.	
			N <sub>1</sub> , сценарий 1	N <sub>2</sub> , сценарий 2
23	22	102,8	563338	56549
24	23	54,3	4055	275
25	24	65,4	3702	261
26	25	60,2	1635	134
27	26	124,6	310888	80784
28	27	316,5	1293	89
29	28	307,1	717613	84823
30	29	329,7	2468	85
31	30	285,1	1341725	88862
32	31	222,9	20390	256
33	32	188,1	19419	225
34	33	207,2	21361	210
35	34	139,9	14565	217
36	35	103,1	5315	111
37	36	113,2	5724	118
38	37	113,1	4252	111
39	38	161,8	801763	76745
40	39	154,3	2780	121
41	40	185,9	10681	225
42	41	176,1	12040	186
43	42	102,1	11457	217
44	43	62,7	6603	264
45	44	73,9	4078	249

Таблица А2 – Вариант 2

№	Участок трассы, км	L, средняя возможная масса потерянной нефти, т	Возможные платы за загрязнение ОС при аварии, тыс. руб.,	
			N <sub>1</sub> , сценарий 1	N <sub>2</sub> , сценарий 2
1	45	149,9	4855	280
2	46	133,4	883575	80784
3	47	67,4	9710	217
4	48	60,4	8739	249
5	49	69,9	4078	280
6	50	73,3	3884	241
7	51	72,8	1293	63
8	52	143	2821	68
9	53	133,2	458150	92902
10	54	84,8	3679	101
11	55	52,4	2289	98
12	56	65,5	1472	111
13	57	89,5	1881	118
14	58	95	6173	222
15	59	160	10098	179
16	60	114	6700	240
17	61	72,7	633463	103000
18	62	89,4	5243	217
19	63	66,7	717613	94921
20	64	136,9	4078	233
21	65	164,3	8933	249
22	66	113,9	4497	95

Таблица А2 (продолжение)

№	Участок трассы, км	L, средняя возможная масса потерянной нефти, т	Возможные платы за загрязнение ОС при аварии, тыс. руб.,	
			№1, сценарий 1	№2, сценарий 2
23	67	98,9	759688	103000
24	68	97,7	2617	101
25	69	103,1	5632	287
26	70	259,8	6603	303
27	71	102,2	16701	241
28	72	86,6	2535	118
29	73	156	4252	150
30	74	134,2	9054	296
31	75	78,4	5144	321
32	76	136	4088	141
33	77	194,2	3087	305
34	78	151,8	731638	109058
35	79	40,8	3704	337
36	80	68,5	4321	403
37	81	70,4	883575	113098
38	82	103,6	7202	370
39	83	93	8643	387
40	84	129,7	3598	141
41	85	103,8	745663	133294
42	86	117,6	12964	337
43	87	189,4	1157063	135313
44	88	142,9	3271	128
45	89	122,3	4007	128

Таблица А3 – Вариант 3

№	Участок трассы, км	L, средняя возможная масса потерян-ной нефти, т	Возможные платы за загрязне-ние ОС при аварии, тыс. руб.,	
			N <sub>1</sub> , сценарий 1	N <sub>2</sub> , сценарий 2
1	90	184,9	2114	103
2	91	163,1	4408	212
3	92	185,2	13928	183
4	93	226,8	6214	75
5	94	259,2	13752	197
6	95	297,9	4415	88
7	96	135,9	808775	36353
8	97	100,6	8463	233
9	98	76,5	7052	261
10	99	52,5	518925	48470
11	100	77,6	5642	233
12	101	99,8	9697	282
13	102	148,2	13928	268
14	103	191,3	11460	310
15	104	277,6	902275	52510
16	105	279,8	3761	66
17	106	280,8	10578	240
18	107	280	745663	46451
19	108	331,8	9873	261
20	109	387,8	717613	48470
21	110	434,2	6171	303
22	111	498,7	3526	247

Таблица А3 (продолжение)

№	Участок трассы, км	L, средняя возможная масса потерян-ной нефти, т	Возможные платы за загрязне-ние ОС при аварии, тыс. руб.,	
			N <sub>1</sub> , сценарий 1	N <sub>2</sub> , сценарий 2
23	112	565,3	563338	56549
24	113	654,2	4055	275
25	114	588,5	3702	261
26	115	466,6	1635	134
27	116	490,6	310888	80784
28	117	547,5	1293	89
29	118	607,3	717613	84823
30	119	663,1	2468	85
31	120	722,3	1341725	88862
32	121	799,1	20390	256
33	122	727,4	19419	225
34	123	691,6	21361	210
35	124	659,4	14565	217
36	125	48,3	5315	111
37	126	550,5	5724	118
38	127	501,1	4252	111
39	128	451,4	801763	76745
40	129	402,3	2780	121
41	130	355,1	10681	225
42	131	318,1	12040	186
43	132	336,6	11457	217
44	133	314,1	6603	264
45	134	320,9	4078	249

Таблица А4 – Вариант 4

№	Участок трассы, км	L, средняя возможная масса потерянной нефти, т	Возможные платы за загрязнение ОС при аварии, тыс. руб.,	
			N <sub>1</sub> , сценарий 1	N <sub>2</sub> , сценарий 2
1	135	340,5	773850	668606
2	136	390,7	766631	662369
3	137	438,2	1042388	900623
4	138	486,2	1196869	1034095
5	139	534,7	1328250	1147608
6	140	583,4	1472625	1272348
7	141	632,2	1540481	1330976
8	142	680,8	1686300	1456963
9	143	729,7	1676194	1448231
10	144	787,6	1758488	1519333
11	145	36	1910081	1650310
12	146	34,4	96731	83576
13	147	99,5	2617	219
14	148	116	2836	199
15	149	41,7	1150	156
16	150	52,7	2683	150
17	151	113,4	4216	101
18	152	165,8	4599	113
19	153	168,4	6286	126
20	154	184,3	5289	132
21	155	248	4446	144
22	156	205	6173	321

Таблица А4 (продолжение)

№	Участок трассы, км	L, средняя возможная масса потерянной нефти, т	Возможные платы за загрязнение ОС при аварии, тыс. руб.,	
			N <sub>1</sub> , сценарий 1	N <sub>2</sub> , сценарий 2
23	157	186,9	859155	52807
24	158	94,4	15433	305
25	159	225,5	6899	101
26	160	276,7	1002348	84491
27	161	232	5826	163
28	162	130,1	892334	82982
29	163	84,7	3220	175
30	164	137	2223	166
31	165	90,2	679291	85999
32	166	180,3	8025	420
33	167	237,6	6173	395
34	168	195,3	11935	354
35	169	160,6	16256	387
36	170	127,9	13376	321
37	171	253,8	9521	310
38	172	291,7	908050	84491
39	173	349	8231	395
40	174	378,8	14810	381
41	175	447,3	1334135	78456
42	176	423,6	7282	153
43	177	431,9	8815	156
44	178	354,9	9659	166
45	179	295	30661	403

Таблица А5 – Вариант 5

№	Участок трассы, км	L, средняя возможная масса потерянной нефти, т	Возможные платы за загрязнение ОС при аварии, тыс. руб.,	
			N <sub>1</sub> , сценарий 1	N <sub>2</sub> , сценарий 2
1	180	241,1	28809	387
2	181	190,1	29220	362
3	182	174,7	24282	346
4	183	118,1	7512	144
5	184	94,5	6132	132
6	185	47,3	3756	126
7	186	28,7	1226	95
8	187	45,7	1226	101
9	188	129,5	3143	126
10	189	256,2	61119	64877
11	190	268,9	6950	147
12	191	246,8	7277	131
13	192	264,4	871379	55824
14	193	221,8	6541	111
15	194	243,5	908050	60350
16	195	233,6	7114	154
17	196	274,1	6132	128
18	197	181,2	6868	111
19	198	106,7	7359	95
20	199	176,8	4906	88
21	200	203,9	557054	66385
22	201	233,7	2683	61

Таблица 5 (продолжение)

№	Участок трассы, км	L, средняя возможная масса потерянной нефти, т	Возможные платы за загрязнение ОС при аварии, тыс. руб.,	
			N <sub>1</sub> , сценарий 1	N <sub>2</sub> , сценарий 2
23	202	256,8	4446	55
24	203	352,2	5289	46
25	204	438,9	5902	52
26	205	390,6	24282	115
27	206	427,6	29838	239
28	207	476,9	26751	214
29	208	388,3	28809	189
30	209	172,7	32101	247
31	210	97,2	9889	110
32	211	120,4	7666	95
33	212	64,6	7512	86
34	213	18,8	15433	198
35	214	84,8	13170	296
36	215	259,1	483711	45263
37	216	258,7	5826	126
38	217	186	4906	113
39	218	134,7	5443	101
40	219	114,2	7512	95
41	220	72,2	6439	71
42	221	60,2	12552	123
43	222	120,7	4446	52
44	223	126,3	2300	58
45	224	179,7	15433	173
46	225	179,9	319564	52807

ПРИЛОЖЕНИЕ Б. Определение варианта  
для выполнения заданий.

Последняя цифра в номере зачетной книжки		Вариант
0	5	1
1	6	2
2	7	3
3	8	4
4	9	5

*Учебное издание*

**Колесникова Евгения Владимировна,**  
канд. геогр. наук

**ТЕХНОГЕННЫЕ СИСТЕМЫ  
И ЭКОЛОГИЧЕСКИЙ РИСК**

*Печатается в авторской редакции .*

Подписано в печать 30.12.2020. Формат 60 x 90 1/16.  
Гарнитура Times New Roman. Печать цифровая.  
Усл. печ. л. 7,75 Тираж 30 экз. Заказ № 1030.  
РГГМУ, 192007, Санкт-Петербург, Воронежская, 79