



# БЕЗОПАСНОСТЬ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ

Издается с января 2001 г.

2(122)  
2011

**Редакционный совет:**

АКИМОВ В. А.  
БАЛЫХИН Г. А.  
БЕЛОВ С. В.  
ЗАЛИХАНОВ М. Ч.  
(председатель)  
МАХУТОВ Н. А.  
ПАВЛИХИН Г. П.  
СИДОРОВ В. И.  
СОКОЛОВ Э. М.  
СОРОКИН Ю. Г.  
ТЕТЕРИН И. М.  
ТИШКОВ К. Н.  
УШАКОВ И. Б.  
ФЕДОРОВ М. П.  
ЧЕРЕШНЕВ В. А.  
АНТОНОВ Б. И.  
(директор издательства)

**Главный редактор**

РУСАК О. Н.

**Зам. главного редактора**

ПОЧТАРЕВА А. В.

**Ответственный секретарь**

ПРОНИН И. С.

**Редакционная коллегия:**

ГЕНДЕЛЬ Г. Л.  
ГРУНИЧЕВ Н. С.  
ИВАНОВ Н. И.  
КАЛЕДИНА Н. О.  
КАРТАШОВ С. В.  
КАЧАНОВ С. А.  
КРАСНОГОРСКАЯ Н. Н.  
КСЕНОФОНТОВ Б. С.  
КУКУШКИН Ю. А.  
МАСТРЮКОВ Б. С.  
МЕДВЕДЕВ В. Т.  
ПАНАРИН В. М.  
ПОЛАНДОВ Ю. Х.  
ПОПОВ В. М.  
СИДОРОВ А. И.  
ТОПОЛЬСКИЙ Н. Г.  
ФРИДЛАНД С. В.  
ХАБАРОВА Е. И.  
ЦХАДАЯ Н. Д.  
ШВАРЦБУРГ Л. Э.

## СОДЕРЖАНИЕ

<b>Карлин Л. Н., Самусевич И. Н.</b> Российский государственный гидрометеорологический университет — 80 лет служения человеку и природе . . . . .	2
<b>Карлин Л. Н., Музалевский А. А.</b> Рискологические исследования в РГГМУ . . . . .	5
<b>Бескид П. П., Шишкин А. Д.</b> Об опыте проведения экологического мониторинга состояния морской поверхности радиолокационными средствами . . . . .	20
<b>Голубев Д. А., Лукьянов С. В., Шилин М. Б., Волнина О. В.</b> Оценка экологической безопасности портостроительства в Финском заливе по состоянию прибрежных биологических сообществ . . . . .	25
<b>Шелутко В. А., Дмитриев В. В.</b> Прикладная экология и геоэкология в системе высшего географического и гидрометеорологического образования . . . . .	32
<b>Фруммин Г. Т.</b> Оценка риска для здоровья населения Санкт-Петербурга при ингаляционном воздействии взвешенных веществ и бенз(а)пирена . . . . .	38
<b>Ватулин Я. С., Вершовский М. Г., Дикинис А. В., Полякова Л. Ф., Шилов Д. В.</b> Виртуальная реальность в технологиях обучения, переподготовки и повышения квалификации специалистов в сфере обеспечения экологической безопасности . . . . .	42
<b>Дикинис А. В., Сапунов В. Б.</b> Критерии экологического благополучия . . . . .	46
<b>Дроздов В. В., Смирнов Н. П.</b> Качество питьевой воды в областных центрах Северо-Западного федерального округа как фактор безопасности жизнедеятельности населения . . . . .	52
<b>Приложение. Алимов А. А., Карлин Л. Н., Музалевский А. А., Самусевич И. Н., Гусакова М. А.</b> Климат Земли: мифы и реальность . . . . .	

Журнал входит в Перечень ведущих и рецензируемых научных журналов и изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученых степеней кандидата и доктора наук и включен в систему Российского индекса научного цитирования.



**Л. Н. Карлин**, д-р физ.-мат. наук, проф., ректор, **И. Н. Самусевич**, мл. научн. сотр.,  
НИС, Российский государственный гидрометеорологический университет,  
г. Санкт-Петербург  
E-mail: rector@rshu.ru

## Российский государственный гидрометеорологический университет — 80 лет служения человеку и природе

Российский государственный гидрометеорологический университет (РГГМУ) — ведущий вуз современной системы высшего гидрометеорологического образования России и перспективный лидер мировой высшей школы в данной области. В прошлом году РГГМУ отметил 80 лет со дня основания.

История университета начинается в тридцатых годах прошлого века. В те довоенные годы время было отнюдь не легким и безоблачным. Этот период характеризовался коренными преобразованиями в жизни нашей страны. Освоение северного морского пути, строительство гидроэлектростанций, развитие рыболовства и морского транспорта чрезвычайно повысили требования к метеорологическим данным, что потребовало расширения гидрометеорологических и океанологических исследований. Для решения этих задач были нужны соответствующие специалисты. И в 1930 г. в Москве был организован Московский гидрометеорологический институт, сформированный на базе геофизического факультета и гидрологического отделения геологического факультета 1-го Московского государственного университета. Институт стал первым в мире высшим учебным заведением гидрометеорологического профиля.

В те годы ученым, переходившим в новый институт, приходилось преодолевать большие трудности. Но, благодаря их энтузиазму новый вуз быстро рос и набирал силы, увеличивалось количество преподавателей и студентов. За первые десять лет в вузе были созданы первые учебные планы, программы, сформированы научные школы, оборудованы лаборатории, опубликованы учебники и труды института, которые приобрели широкую популярность в научном сообществе.

В 1941 г. заканчивались работы по строительству нового корпуса, что позволило бы в дальнейшем расширить экспериментальные исследования. Но этот год принес страшную трагедию, затянувшуюся на 4 года. Институт был преобразован в Высший военный гидрометеорологический институт Красной Армии и стал готовить офицерские кадры для фронта. Осенью 1941 г. институт эвакуировали в Среднюю Азию в г. Ленинабад (ныне Хужанд). Благодаря энергии личного состава там быстро наладилась учебная работа: в институт призывались студенты родственных вузов. А когда были остановлены и разбиты немецкие войска под Москвой, началась реэвакуация института, и в июле 1943 г. работа уже закипела в столице.

В 1944 г. институт был переведен в Ленинград, в 1945 г. — реорганизован в Ленинградский гидрометеорологический институт (ЛГМИ).

В 1957 г. ЛГМИ покинул обжитый корпус на набережной Макарова и переехал в здание, проектировавшееся как Дом Культуры (Малоохтинский проспект, 98), где и сейчас находится первый корпус университета. В 1964 г. у института появился второй учебный корпус на проспекте Metallistov, 3.

1960-е годы отмечены повышенным интересом к изучению океанов, проведением исследований по международным геофизическим программам, вводом в строй целой серии самых современных отечественных научно-исследовательских судов, выполнением планомерных исследований полярных областей. Возросшая потребность в специалистах океанологического профиля привела к увеличению с 1966 г. приема студентов на океанологическую специальность, чем было обусловлено создание в 1970 г. океанологического факультета. Не менее важная научно-исследовательская работа, направленная на решение важнейших проблем гидрологии, проводилась на гидрологическом факультете.

В те годы кафедрами факультета заведовали заслуженные деятели науки, благодаря стараниям которых возобновляется работа кафедры динамики русловых потоков, образуются кафедра гидрогеологии, специализирующаяся в области подземных вод, и кафедра гидрохимии (первая кафедра в учебных заведениях СССР), обеспечивающая подготовку специалистов в области химии атмосферы и химии океана. В это же время научные разработки метеорологического факультета сосредоточились на методах прогноза синоптической ситуации и усовершенствовании способов прогноза отдельных элементов погоды. Начинается подготовка специалистов по гидродинамическим прогнозам погоды. В 1980-х годах в ходе структурной перестройки на метеорологическом факультете образуются две новые кафедры, где начинают готовить специалистов-измерителей по направлениям: "авиационная метеорология", "загрязнение атмосферы и охрана атмосферного воздуха" и "информационно-измерительные системы в метеорологии".

В 1998 г. институт получает статус университета и по настоящее время носит название Российский государственный гидрометеорологический университет (РГГМУ). Эта новая страница истории университета принесла положительные результаты в дальнейшем развитии и процветании вуза. Те-

перь помимо постоянного совершенствования подготовки специалистов в области гидрометеорологического профиля, вуз начал подготовку профессионалов по смежным специальностям.

В настоящее время университет остается единственным высшим учебным заведением гидрометеорологического профиля в России, включающим семь факультетов, более 25 кафедр, несколько научных центров и институтов. За период своего существования университет выпустил около 20 000 специалистов высшей квалификации. В вузе одна из лучших и уникальных в России вузовских библиотек, военная кафедра, выпустившая более 5000 военных гидрометеорологов, центр здоровья, база отдыха, учебные базы в поселке Даймище и на острове Валаам. В вузе ежегодно обучается более 5500 российских и зарубежных студентов, аспирантов и докторантов. Учебный процесс обеспечивают свыше 250 преподавателей, в том числе более 100 докторов наук и профессоров. По последним официальным данным Министерства образования и науки РФ РГГМУ находится в числе лучших и востребованных российских вузов. В реализации научных и культурно-просветительских традиций университета важная роль отведена издательству РГГМУ, которое ежегодно выпускает свыше 200 наименований учебной, научной, научно-художественной и справочной литературы.

В последние десятилетия человечество всерьез задумалось о состоянии окружающей среды и природных ресурсов, о последствиях нарушения биобаланса в природе, а главное, о решении всех этих проблем. Результатом обсуждения вопросов взаимодействия природы и общества стал ряд документов, принятых на Международной конференции по окружающей среде и развитию (Рио-де-Жанейро, 1992 г.). В этих документах ведущая роль в формировании экологического мировоззрения будущего поколения отведена образованию. В настоящее время особенно остро ощущается необходимость в квалифицированных кадрах для решения специфических экологических проблем городов и промышленных зон. В связи с этим в 1994 г. в РГГМУ был открыт факультет "Экологии и физики природной среды", который проводит успешную подготовку бакалавров, магистров, специалистов и научные исследования в области экологии. В настоящее время на факультете работают пять кафедр, учебный процесс на которых обеспечивают более 100 преподавателей, из них с учеными степенями и званиями — свыше 40 человек.

За 16 лет работы факультет значительно расширил границы образовательной деятельности. Сейчас факультет готовит бакалавров по направлениям "экология и природопользование" и "физика"; дипломированных специалистов — по специальностям "геоэкология", "геоэкологическая экспертиза", "социальная экология", "менеджмент организации ("экологический менеджмент")", "менеджмент ту-

ризма", "менеджмент санаторно-курортного дела"; магистров по направлению "экология и природопользование" по программам: "геоэкологический мониторинг", "геоэкология", "глобальные экологические проблемы", "математическое моделирование экосистем", "социальная экология".

Обучаясь на экологическом факультете, студенты получают возможность изучения не только общеобразовательных дисциплин, но и целого ряда специальных дисциплин в области системной экологии, экологии человека, экологического мониторинга, управления экологическими системами, экологической экспертизы, геоинформационных технологий. Лекции студентам факультета читают ведущие российские и зарубежные эксперты различных экологических проектов и специалисты-экологи международных компаний, представленных на российском рынке. Профессорско-преподавательский коллектив факультета задействован в экологической экспертизе российских компаний, а также в программах и проектах в области геоэкологии, экологии и природопользования. Такая широкая профессиональная подготовка, знание иностранного языка позволяют претендовать выпускнику на интересную и перспективную работу и в будущем занять достойное место в обществе. В частности, после окончания факультета приобретенные знания позволяют выпускникам работать в Комитетах охраны окружающей среды и природопользования, территориальных органах стратегического планирования и управления устойчивым развитием, организациях экологической экспертизы и аудита, в российских и зарубежных университетах, в проектных и изыскательных организациях и институтах, страховых компаниях, на особо охраняемых природных территориях, санаториях и курортах, в специализированных внешнеэкономических фирмах и организациях.

Большие возможности для повышения экологической компетентности студентов представляет учебно-полевая практика, в процессе которой выполняются тематические учебно-исследовательские программы, призванные решать местные экологические проблемы и региональную специфику. Студенты факультета, обучающиеся по всем экологическим образовательным программам проходят полевые практики на Финском заливе, Белом море, Баренцевом и Черном морях, на реке Охта. Практика на Финском заливе проходит на учебном парусном катамаране "Центаурус-2", оснащенном всем необходимым гидрологическим, гидрохимическим и гидробиологическим оборудованием для проведения полноценного и полного экологического исследования с целью принятия решений по оздоровлению среды залива и Балтийского моря. Успешно реализуется практика экологического туризма на Валаамском архипелаге, в природном парке Вепсский лес, в Водлоозерском национальном парке и на озере Байкал, где изучаются местные



редкие виды растений и животных, охраняемые и типичные природные комплексы, антропогенный фактор изменения местной флоры и фауны и т. д.

Студенты осваивают сложившийся опыт экологического образования, анализируют эффективность как традиционных, так и инновационных эколого-педагогических методик. Они помогают в подготовке и проведении различных общегородских массовых экологических мероприятий:

- Дней защиты от экологической опасности.
- Недели окружающей среды.
- Международного фестиваля экологических фильмов "Зеленый взгляд" и многое другое.

Студенты — будущие специалисты-экологи активно работают в Европейском студенческом географическом обществе (EGAA), поскольку Российский государственный гидрометеорологический университет является филиалом этого Общества.

Особое внимание в подготовке специалистов экологического профиля факультет уделяет экологической безопасности. Специалисты геоэкологии и мониторинга окружающей среды занимаются комплексным экологическим анализом территорий, на которых размещаются и планируются к размещению крупные народнохозяйственные объекты. Основной задачей специалистов является разработка комплекса природоохранных мероприятий, позволяющих в результате деятельности народнохозяйственных объектов при различных режимах их эксплуатации не превышать критерии экологической безопасности.

Специалисты в области социальной экологии занимаются социально-демографическими и эколого-экономическими исследованиями в районах с напряженной экологической обстановкой, зонах экологического бедствия, районах предполагаемого размещения крупных промышленных предприятий. Они организуют и проводят социологические опросы, взаимодействуют со средствами массовой информации, участвуют в работе общественных экологических экспертиз и комиссий, занимаются просветительской и преподавательской деятельностью.

С 2001 г. на факультете осуществляется подготовка специалистов "менеджер организации" по специализации "менеджер туризма". Эта образовательная программа предназначена для подготовки специалистов туристических и экскурсионных бюро и агентств, администраторов, сотрудников национальных, природных парков и заповедников, сотрудников подразделений региональных, районных и муниципальных администраций.

В 2005 г. открылась новая специализация — "Экологический PR", которая ставит своей целью привлечение внимания общественности к проблемам экологии для обеспечения устойчивого развития общества. Эта новая отрасль охватывает большую сферу, от создания экологических брендов, до проектной деятельности для коммерческих и некоммерческих организаций, социальных PR-

проектов. В этом же году была организована Всероссийская студенческая конференция "PR в экологии", посвященная проблемам экологического PR в кризисных ситуациях, которая впоследствии стала традиционной и проводится теперь ежегодно. Основной целью конференции, которую преследуют организаторы мероприятия, является ознакомление студентов с основными проблемами PR в экологии для получения практических навыков в осуществлении экологических PR-проектов; разработка основных направлений по повышению эффективности PR в обеспечении устойчивого развития общества; формирование экологической ответственности бизнеса; привлечение внимания государственных структур к экологическому PR; развитие сферы экологического PR в некоммерческом секторе. Актуальность проекта подтверждена тем, что конференция завоевала первое место во Всероссийском конкурсе студенческих PR-проектов "Хрустальный апельсин" в 2006 г.

С 2006 г. факультет начал готовить специалистов "менеджер организации" по специализации "менеджер санаторно-курортного дела". Эта образовательная программа предназначена для подготовки управленцев и менеджеров санаторно-курортных и оздоровительных комплексов, менеджеров по продаже лечебно-оздоровительных туров и менеджеров для высших управленческих структур санаторно-курортной отрасли.

С 2008 г. РГГМУ проводит подготовку руководителей и специалистов организаций, поднадзорных Федеральной службе по экологическому, технологическому и атомному надзору (Ростехнадзору) по следующим программам:

- "Обеспечение экологической безопасности руководителями (специалистами) общехозяйственных систем управления".
- "Обеспечение экологической безопасности руководителями (специалистами) экологических служб и систем экологического контроля".
- "Обеспечение экологической безопасности при работах в области обращения с опасными отходами".

С момента организации курсов, подготовку прошли более 170 представителей различных организаций и компаний Санкт-Петербурга и Ленинградской области, среди которых: ОАО "Водотеплоснаб"; ООО "Ленхиммаш"; МУП "Водоканал"; г. Гатчина; ООО "Мясная станция"; ОАО "Нефрит Керамика"; Завод "Полимерстройматериалы", г. Санкт-Петербург; ООО "Комбинат химико-пищевой ароматики"; ООО "Усть-Лужский контейнерный терминал"; ООО "Экологический флот" и многие другие.

На протяжении нескольких лет университет проводит различные научные мероприятия, посвященные всестороннему исследованию фундаментальных вопросов прикладной экологии, решению задач экологического обоснования устойчивого развития больших городов и промышленных зон,

а также координации и кооперации работ в данной области экологии. В частности, это ставшая традиционной с 2004 г. международная конференция "Экогидромет", на которой рассматриваются наиболее важные и волнующие экологические проблемы больших городов и промышленных зон.

В 2009 г. при взаимодействии с Комитетом по природопользованию, охране окружающей среды и обеспечению экологической безопасности Правительства Санкт-Петербурга был проведен международный семинар "Экологическая безопасность дреджинга в современном мире", посвященный обсуждению экологических аспектов гидротехнических работ, связанных с дноуглублением, намывом

прибрежных территорий, перемещением и отвалом больших объемов донного грунта.

В заключение отметим, что РГГМУ — это уникальный вуз, где отчаянные романтики всегда могли реализовать свою мечту о далеких морях, океанских глубинах и экстремальных условиях полярных регионов, участвуя в различных гидрологических, экологических и океанологических экспедициях, а прагматично настроенные особы получить хорошее фундаментальное образование как по традиционным специальностям, так и достаточно новым — гуманитарным и экономическим. За 80 лет славной истории университет стал популярным и узнаваемым не только в России, но и в мире.

Нам есть что вспомнить, и есть чем гордиться!

УДК [504:338.486.1.1.02:911.375.227] (470.620)

**Л. Н. Карлин**, д-р физ.-мат. наук, проф., **А. А. Музалевский**, д-р техн. наук, проф.,  
Российский государственный гидрометеорологический университет, г. Санкт-Петербург  
E-mail: muzalev@rshu.ru

## Рискологические исследования в РГГМУ

*В настоящем обзоре в кратком виде отражены основные результаты рискологических исследований ученых РГГМУ за последние 10 лет. Представлен вклад ученых и специалистов РГГМУ в разработку элементов теории риска, методов его оценки и управления риском. Обозначены практические приложения полученных результатов. Обзор снабжен списком научных трудов ученых РГГМУ, опубликованных в ведущих научных журналах России.*

**Ключевые слова:** опасность, безопасность, риск, экологический и технический риск, оценка риска, управление рисками, системный подход, здоровье населения, качество окружающей среды.

**Karlin L. N., Muzalevskij A. A. Risk researches in RSHU**

*In the present review in a short kind the basic results risk researches of scientists RSHU for last 10 years are reflected. The contribution of scientists and experts RSHU is presented to working out of elements of the theory of risk, methods of its assessment and management of risk. Practical appendices of the received results are designated. The review is supplied by the list of proceedings of scientists RSHU published in leading scientific magazines of Russia.*

**Keywords:** danger, safety, risk, ecological and technical risk, a risk estimation, management of risks, the system approach, population health, quality of environment.

### 1. Краткая история вопроса и основные направления рискологических исследований в РГГМУ

Рискогенность стала неотъемлемым атрибутом современного общества. В настоящий момент наиболее рискогенными сферами существования человека становятся не только экономика, политика, техносфера, но и сама окружающая среда, существенно искаженная человеком и превратившаяся в источник рисков. Социально-политическая система, в которой мы сейчас живем, содержит огромное число рисков, количество которых неуклонно увеличивается.

Многими специалистами переход к "обществу риска" связывается с изменением **системных свойств** нашего мира и возникновением **системного кризиса**. В этот системный кризис вносит заметный вклад глобальный экологический кризис, существование которого признается многими учеными в разных странах мира. Среди многочисленных рисков все большее значение приобретают экологические риски, которые оказывают влияние на дальнейшее развитие современной цивилизации и обеспечение экологической безопасности.

В настоящее время исчисление рисков, необходимое для построения эффективной системы управления рисками, включая математическое моделирование, технологии принятия решений, анализ статистики, рассматривается как важнейшая



междисциплинарная область деятельности. На сегодняшний день проблема управления рисками превратилась в общемировую задачу.

Отметим, что в современной России на государственном уровне в последние годы проблеме риска стали уделять заметно больше внимания. К усилиям небольших групп при МЧС и Минприроды России и отдельных ученых-энтузиастов по разработке концептуальных основ теории риска добавились вузы России, которые стали под заказ Минобрнауки, Минприроды и МЧС, Правительству и Банков России выполнять работы в области оценки и управления отдельными видами рисков, развивая при этом общие вопросы теории риска, а также методы его оценки и управления.

На этом фоне появились научные журналы по проблемам риска. Стали выходить и книги, посвященные новому научному направлению, получившему название "рискология" [1—11].

Начало систематических рискологических исследований в РГГМУ можно отнести к 2001 г., когда впервые был успешно выполнен проект по рискам для Министерства образования и науки РФ. В этом же году вышло из печати учебное пособие "Экологический риск" [1], что дало толчок к заметному усилению рискологических исследований.

К настоящему времени сотрудниками РГГМУ опубликовано около 100 научных трудов, посвященных проблемам риска, издан ряд монографий по теории риска и практике применения рискологического подхода к решению задач, имеющих важное значение для экономики России [1—40]. Выполнено более 20 проектов рискологической направленности для различных министерств и ведомств.

За последние годы на тему риска защищены ряд кандидатских [41, 42] и докторских диссертаций [43, 44], в которых специалисты РГГМУ выступили в роли научных руководителей и научных консультантов. Все большее количество студентов проявляют к теме риска повышенный интерес. Только в 2010 г. специалистами и магистрами защищено почти два десятка дипломов, так или иначе затрагивающих вопросы оценки и управления рисками.

С научной точки зрения рискологические исследования (имеются в виду риски экологические, технические и природные) в РГГМУ включают широкий спектр вопросов. Ниже перечислены основные направления рискологических исследований.

**1. Общие вопросы теории риска.** Сюда входят понятийный аппарат, термины и их определения, руководящие идеи, базовые положения теории риска. Важной представляется проблема субъективной и объективной составляющих риска, особенности восприятия риска, коммуникации риска, а также взаимосвязи феномена риска с проблемой неопределенности, теории информации и нелинейной динамики.

**2. Вопросы качественной и полуквантитативной оценки риска.** Это направление также очень важно, так как в подавляющем числе случаев, значимых для практики, для оценки риска не удается привлечь теорию вероятности, а знать примерно величину риска и его динамику необходимо.

**3. Вопросы количественной оценки риска.** Это направление интересует многих пользователей, так как с правильной количественной оценкой риска повышается эффективность управления и уменьшаются затраты на реализацию намеченных программ и мероприятий.

**4. Вопросы управления рисками.** Тут важно разработать достаточно простые и эффективные в условиях России схемы и системы управления рисками. Необходимо учитывать также юридическое поле, в рамках которого работают системы принятия решений. Не менее важен вопрос о привлечении к проблеме управления рисками всех заинтересованных сторон.

## 1. Вопросы теории риска

**1.1. Разработка базовых элементов теории риска.** Все известные теории представляют собой обобщенный опыт предыдущих поколений исследователей. Теорий в науке, получивших широкое распространение, а главное, всеобщее признание и подтверждение на практике, не так уж много. Давно подсчитано, что в естественных науках их не более сотни. Разработка теорий шла в основном двумя путями.

Первый путь — это попытки объяснить имеющиеся экспериментальные факты.

Второй путь — это выдвижение новых идей, гипотез и точек зрения, призванных объяснить и вывести на новый, более высокий уровень понимание того, что пока еще недостаточно понято, либо практика потребовала возврата и пересмотра наших старых представлений. Например, в активной стадии разработки находятся сейчас теория диссипативных структур, теория самоорганизации, теория информации, нелинейная динамика (теория сложных систем), теория управления и т. д. Разработка таких теорий нужна не только для прикладных целей, но и для формирования общего понимания картины мира.

На самом деле, оба "вида теорий" в чистом виде не реализуются. В идеальном случае теория должна не только что-то объяснить, но и предсказать.

В основе всякой теории лежат некие, так называемые, руководящие идеи. Их может быть одна или несколько. При этом всегда оговариваются объекты, предмет исследования и уровень описания. Уровень описания очень важен. Он может быть, например, феноменологическим (макроскопическим), мезоскопическим и микроскопиче-

ским. Важно помнить, что все созданные теории имеют рамки своей применимости.

А как обстоит дело с созданием теории риска? Теория риска должна стать инструментом управления и количественного обоснования оптимального распределения материальных и иных ресурсов общества на различные виды деятельности. Наибольшие трудности связаны с принципиальной нелинейностью, связанной с процессами взаимодействия внутри человеческого общества и его взаимоотношений с окружающей средой. Проблема существенно усложняется тем, что человек одновременно является субъектом, создающим опасности, объектом воздействия со стороны этих опасностей и субъектом, противодействующим опасностям им же самим созданными [2, 8].

Неоднозначны мнения, с чего надо начинать создание теории риска. Одни считают, что построение теории риска целесообразно начинать с формирования ее концепции с последующей разработкой соответствующей методологии и присущих ей методов решения. При этом необходимо учесть, что в основу деятельности общества по обеспечению безопасности человека и окружающей его среды необходимо принять теорию управления риском. То есть вопрос звучит так: построить теорию риска в рамках (внутри) другой теории или на основе другой теории? Но что из чего должно при этом следовать — теория риска из теории управления риском или наоборот? Или все же теория риска и теория управления риском должны рассматриваться как нечто единое целое. Сторонники такой точки зрения считают, что это позволяет:

во-первых, оценить, в какой степени современная наука готова исследовать проблемы безопасности в рамках соответствующей этой сфере деятельности самостоятельной научной дисциплины с присущим только ей предметом исследования;

во-вторых, правильно отобрать идеи и расположить их в нужном порядке до того как они будут изложены.

Есть еще одна точка зрения, заключающаяся в том, что при формировании концепции безопасности человека и окружающей его среды необходимо как обязательное условие учитывать, что теория риска является частью более общей концепции, определяющей общую стратегию развития общества.

Первые научные работы по отдельным элементам теории риска, его определению и оценке появились в XIX веке. Они уже содержали, в некоторой степени, теоретическую систематизацию объективных знаний о действительности, но не позволяли описывать, объяснять и предсказывать процессы и явления действительности в области риска. Разработчики теории хорошо понимали, что для дальнейшего развития теории необходимо:

1) сформулировать концепцию, определяющую способ трактовки, понимания явлений и процессов в рассматриваемой сфере деятельности;

2) ввести термины и их определения, иначе говоря, разработать понятийный аппарат;

3) на основе сформулированной концепции построить методологию научного познания;

4) разработать методы практического или теоретического освоения действительности.

При этом акцент ставился на обосновании некоторого универсального критерия безопасности. Наиболее широко используемый сейчас главный критерий — это ожидаемая продолжительность жизни, определяемая как функционал от распределения частоты смертности соответственно возрасту человека. Этот критерий учитывает условия жизни, включая безопасность, за длительный отрезок времени. Такой подход приводит к необходимости научиться количественно учитывать изменения в окружающей среде, происходящие в настоящее время, и их влияние на продолжительность жизни последующих поколений людей. Помимо человека в качестве объектов защиты выступают также объекты окружающей среды, представители флоры и фауны, природные и искусственные образования. Однако следует отметить, что критерий ожидаемой продолжительности жизни в последнее время считается недостаточным, в связи с чем ищутся новые решения этой проблемы [2, 4].

Критериальный подход связывает вместе проблему безопасности и проблему риска. Одна из идей в данном случае состоит в том, что здесь просматривается междисциплинарный подход и модель множественности источников и, соответственно этому, множества рисков. Однако на этом пути встречаются трудности:

- во-первых, это различные источники опасности со своими распределениями вероятности по масштабу и скорости развития события;
- во-вторых, это различные объекты защиты со своими функциями чувствительности по отношению к данному виду воздействия;
- в-третьих, это различные методы предотвращения неблагоприятных событий, противодействия последствиям, методы их локализации, смягчения, ликвидации и т. п.

Движение по этому пути продолжается, однако, пока ни общей теории риска, ни теории управления риском в той степени, которые требуются для применения разработанных положений на практике, нет. Есть некая "лоскутная" картина, над которой предстоит еще много работать.

Представляется, что поиски универсальных принципов, лежащих в основе теории оценки и управления риском скорее всего надо проводить с позиций информационного подхода и положений нелинейной динамики.

**1.2. Определение риска.** Желание ответить на вопрос: "Что такое риск?" не ослабевает и у современных исследователей. Однако та детерминированность, к которой привыкли многие ученые, особенно в терминологии в точных науках, к риску не относится. В опубликованных статьях и монографиях приводится, по меньшей мере, несколько десятков определений риска и все они имеют право на жизнь [2]. В чем тут дело?

А дело в том, что попытка определения риска в рамках логики Аристотеля обречена на провал. В этой логике авторы пытаются ответить на вопрос: "Чем же является риск?". Слово "является" не применимо к определению риска. Это ошибка. Риск понятие не статичное, а динамичное, что просматривается из анализа имеющихся определений риска.

Слово риск содержит в себе весь спектр нежелательных событий, которые могут возникнуть при рассмотрении любой ситуации, феномена, или процесса. С точки зрения философии риск — это категория. Сущность риска и его особенности проявляются в конкретной ситуации. Именно поэтому в каждом рассматриваемом случае нужны специфические определения риска [2].

Интересен анализ слова "риск" с точки зрения его дословного перевода. В переводе с французского языка риск определяется как "опасность, возможность убытка или ущерба". Французский энциклопедический словарь "Grand Larousse" определяет риск как "вероятность или возможность факта или события, рассматриваемого как некое зло или некий ущерб" [2, 17]. Иначе говоря, в этом случае слово риск — это существительное. Однако, с точки зрения итальянского языка (итальянцы считают, что слово риск это их изобретение) это глагол и означает "лабиринт". Это очень интересный момент, и он подтверждает сказанное выше — риск понятие динамичное.

Обзор научных публикаций показывает, что все большее распространение получает точка зрения, гласящая, что сам риск — многокомпонентное (многомерное) понятие [1, 2]. В одном из вариантов риск состоит из двух компонентов: первый компонент учитывает вероятность события, второй — возможные последствия, т. е. потери и ущербы. В более сложном подходе считается, что существует много факторов, влияющих на формирование риска и его величину, и они связаны с восприятием риска и особенностями конкретных ситуаций. Эти факторы и рассматриваются как компоненты риска, хотя можно предложить и другую интерпретацию. Некоторые из этих факторов выявлены психологами и социологами [2].

Если говорить о формировании исходной базы данных для определения риска, в том числе и экологического, то разумно указать ряд факторов, влияющих на собственно определение (идентифи-

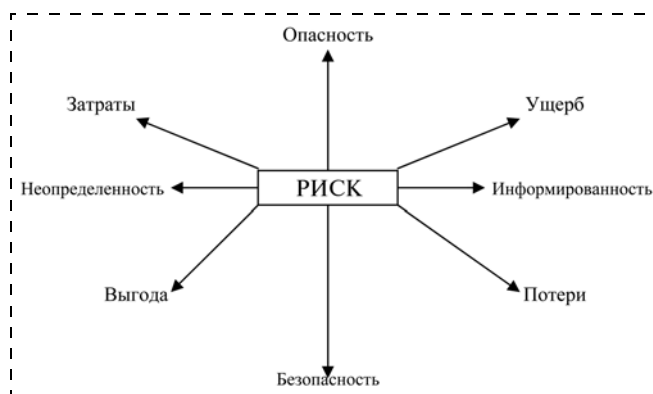


Рис. 1. Компоненты риска с позиции интегрального видения

кацию) риска и, главное, его оценку. В этой связи можно предложить процедуру учета основных факторов, позволяющую более полно отразить смысловые значимости риска и помочь оценить его численное значение. Эта точка зрения коррелирует с особенностями контекста системного подхода и концепцией интегрального видения [16, 30]. Рассмотрим схему, приведенную на рис. 1.

Попарно компоненты риска, как противоположности, могут быть представлены следующим образом: 1) опасность — безопасность; 2) выгода — ущерб; 3) затраты — потери; 4) информированность — неопределенность. Возможны и другие точки зрения, а также интерпретации. Важна практическая польза такого интегрального видения. Разумеется, в этом случае риск имеет более сложный характер, и его анализ и оценка должны проводиться с позиций интегрального видения. Чтобы оценить риск, необходимо его проанализировать со всех этих восьми позиций и построить соответствующую конфигурацию отношений между всеми участниками процесса идентификации и оценки риска. Доминантой в этой конфигурации выступают отношения между подсистемами, а не сами эти подсистемы.

Есть и другие причины, затрудняющие определение риска, его осознание и его анализ. Действительно, есть точка зрения, что есть риски внешние, т. е. "объективные", и риски, существующие только внутри нас, т. е. "субъективные" [1, 2]. Тогда весьма существенными являются факторы и механизмы восприятия риска.

Если встать на точку зрения, что риск субъективен, то необходимо поставить вопрос о генезисе субъективизма риска, ответ на который надо искать во многих науках, в том числе, таких как психология и социология. Отсюда следует, что сама наука о риске превращается в междисциплинарную, требующую привлечения знаний из разных наук и искусств. Учитывая, что человек живет в социуме, необходимо изучать также "коллективный



субъективизм" риска, так как восприятие риска отдельным индивидом может сильно отличаться от восприятия риска группами людей, куда входит этот индивид [2, 25].

**1.3. Экологический риск и его особенности.** В определениях экологического риска также есть разночтения. В разных странах к экологическим рискам относят риски, которые, по сути дела, называются быть таковыми. Например, в США довольно четко выделяют риски медицинские и риски экологические. Однако в Англии, Франции, Финляндии и Голландии, например, такого резкого разделения нет. Нет его и в России.

В настоящее время в России к экологическим рискам относят риски химического загрязнения окружающей среды вредными и ядовитыми веществами, риски разрушения биоты, риски перенаселения, опустынивания, обезлесивания, истощения природных, питьевых и пищевых ресурсов. Теперь к экологическим рискам относят риски электромагнитные и акустические. Особенно опасен в этом отношении МКВ-диапазон. Обнаружен также эффект воздействия на живые ткани низкочастотных полей, и механизм этого воздействия пока не известен. Геомагнитные воздействия на человека известны давно, и теперь их тоже относят к категории экологического риска.

Например, в США и в Евросоюзе экологический риск определяется как двухкомпонентная величина, включающая в себя вероятность возникновения нежелательного события экологического характера, а также возможные ущербы от этого события.

Важным этапом в решении проблемы определения понятия "экологический риск" явилось принятие Федерального закона РФ от 10.01.02 от №7-ФЗ "Об охране окружающей среды". В соответствии со ст. 1 закона, *"экологическим риском является вероятность наступления события, имеющего неблагоприятные последствия для природной среды и вызванного негативным воздействием хозяйственной и иной деятельности, чрезвычайными ситуациями природного и техногенного характера"*.

По мнению авторов, экологический риск — это риск нарушения динамического равновесия (отклонение) в экологических системах, который приводит к изменению параметров характеристик их абиотических и биотических составляющих в результате природных процессов или техногенной деятельности и перестройки экосистемы в состояние с новыми свойствами.

Вероятность этого отклонения может быть принята в качестве определения меры экологического риска, если речь идет о динамической постановке задачи. Здесь мера экологического риска выступает как составляющая, входящая в состав комплексного показателя, характеризующего в целом рискологическую ситуацию относительно качест-

Таблица 1  
Состояния технической системы и экологической системы, их соответствие и взаимодействие

№ п/п	Тип состояния технической системы	Характеристика состояния экологической системы
1	Отсутствие техногенной деятельности	Экологически устойчивое состояние (ЭУС)
2	Штатное безаварийное функционирование промышленного предприятия	Экологическое возмущение первого порядка (ЭВ-1)
3	Аварийная ситуация	Экологически напряженное состояние
4	Критическое состояние	Стресс экологической системы
5	Аварии	Экологическое возмущение второго порядка (ЭВ-2)
6	Техногенные катастрофы	Экологическое возмущение третьего порядка (ЭВ-3)

ва компонентов природной среды. С другой стороны, эта составляющая должна связываться с другими способами оценки отклонения этого состояния и качества от эталона [1, 2].

Отметим, что в генезисе экологического риска изначально заложено его соответствие и корреляция техническому риску. Несмотря на различия между техническим и экологическим рисками, можно, применяя аналогии между состояниями технического объекта и качественными характеристиками экосистем, увязать экологические параметры с состоянием технических систем. Сказанное проиллюстрировано в табл. 1 [1].

**1.4. Субъект, объект и предмет риска.** Толкование смысла этих словосочетаний тесно связано с той ситуацией, которая имеет место на данный момент, и зависит от контекста.

Выражение *субъект риска* надо понимать как наличие конкретного человека, который может и породить риски, и быть в то же время лицом, принимающим на себя последствия реализации тех или иных угроз.

*Объект риска* — это также то, что может породить рисковую ситуацию, или то, на что могут быть обращены соответствующие угрозы и опасности. Это означает, что субъект риска может перейти в объект риска. Такую ситуацию чаще всего мы имеем в экономике.

Слово *предмет* имеет обобщающий смысл и потому большое количество конкретных значений. С другой стороны, предметы, как известно, есть одушевленные и неодушевленные. Таким образом, предмет риска может быть и субъектом риска и объектом риска. Также слово предмет может означать аспект научной деятельности. В этом смысле, говоря о предмете риска, можно иметь в виду то пред-



метное направление, дисциплину, с позиций которой в данный момент рассматривается вопрос.

По одному из определений, риск — это вероятность наступления нежелательного события, умноженная на магнитуду ущерба. Тогда ясно, что уместен вопрос: Риск чего? Ответ — риск наступления нежелательного события. Что касается ущерба, то тут уместны два вопроса: Риск чего? И риск кого? В этом случае возвращаемся к понятиям субъект, объект и предмет риска.

Например, в экономике субъектом риска может быть собственник живых ресурсов, который несет ущерб. Предметом риска в этом случае обычно является экономический ущерб. С точки зрения экологии субъектом воздействия являются сами живые организмы, однако к ним понятие риска не применяется.

Таким образом, при обсуждении этого вопроса, надо исходить из той рискованной ситуации, которая имеется на данный момент. При этом надо иметь в виду, что сами по себе в одиночестве субъект, объект и предмет риска не имеют смысла. Действительно, в рискологических ситуациях всегда имеется источник риска и "приемник" риска, которые могут выступать в разном качестве. В качестве примера можно указать автовладельца и страхователя в ситуации обычной и в ситуации случившегося ДТП.

Возможна ситуация, в которой субъект, объект и предмет риска сосредоточены в одном лице, в самом человеке. Человек может быть источником риска, в то же время он принимает риск на себя, а генерируя конкретный риск, он порождает и предмет риска.

## 2. Вопросы качественной и полуколичественной оценки риска

**2.1. Качественная и полуколичественная оценка риска и ее место в общей схеме измерения риска.** На практике во многих случаях вполне достаточной может быть оценка риска на уровне заявлений: "риск большой", "риск невелик", "риском можно пренебречь", либо "риски выше", либо "риски ниже".

Наука не отвергает качественных оценок и сама часто ими пользуется, но стремится также к получению полуколичественных и количественных оценок. Существуют оригинальные и мало известные качественные и полуколичественные методы оценки риска, а также методы, применяемые только для каких-то отдельных конкретных случаев. Разрабатываются и новые методы. Каждый метод оценки риска разрабатывался под определенные виды задач и, конечно, не является универсальным. Поэтому определенный метод имеет свои преимущества и недостатки, что предопределяет ограниченные области его применения.

В этой связи прокомментируем с самых общих позиций некоторые методы оценки техногенного и экологического риска и отметим вклад авторов в разработку новых подходов.

**2.2. Методы оценки риска для редких событий.** Проблема оценки риска для редких событий одна из самых болезненных. В тех случаях, когда речь идет о редких опасных событиях и явлениях техногенного или природного характера, вероятностный подход к оценке риска неприемлем. Однако просматривается некоторый прогресс на пути решения этой проблемы. Это прежде всего разработка специальных шкал, переводящих качественные оценки в другие "качественные", но с количественным подтекстом. Обозначим эти шкалы.

1. *Номинальная шкала* измерений, которая иначе называется шкалой наименований. В номинальной шкале может быть измерена интенсивность рисков в выражении степени опасности события, назначенная экспертом в виде лингвистических переменных, границы действия которых слабо определены или размыты.

2. Следующей шкалой для оценки риска является *шкала порядка*. В этой шкале измерение сводится к нахождению места каждого измеряемого объекта среди других объектов на этой же шкале. Результатом такого измерения является ранжирование объектов по какому-либо признаку на основе его компарирования.

Примером таких шкал являются шкала скорости ветра Бофорта и силы землетрясений Рихтера. Эти шкалы подразумевают сравнения интенсивности процессов (силы ветра и мощность разрушений) на основе экспертных оценок, т. е. психофизических измерений. Лингвистические переменные ранжируются по степени проявления их смысловой нагрузки на основании общефизических соображений.

Числа, поставленные в соответствие лингвистическим переменным, пригодны для проведения статистического анализа, обеспечивающего получение корреляционных зависимостей между входным воздействием и реакцией системы, а также оценки устойчивости этих связей, позволяющих выделить ложные предикторы или же неадекватные оценки экспертов [2, 43].

3. Третьим методом измерения является *шкала интервалов*. Здесь целью измерения является отыскание вариантов отношений измеряемых величин к группе преобразований числовой шкалы. Ценой деления и началом отсчета в данном случае может быть любая величина как числовой, так и не числовой природы.

4. Четвертой и наиболее привычной шкалой измерения является *абсолютная шкала*. В этой шкале зафиксировано начало отсчета и единица масштаба.

Такая шкала допускает только тождественное преобразование  $\varphi(x) = x$  (классическая линейка).

Обобщение процесса измерения допускает комбинацию применения всех названных выше шкал для получения результата. Это положение позволяет осуществить плавный переход от чисто количественных к чисто качественным измерениям и в ряде случаев обрабатывать их совместно.

Опасную ситуацию возможного ЧС, рассматриваемую как редкое явление, предлагается характеризовать показателем "значимость—тревожность", непосредственным образом связанным с возможной тяжестью рассматриваемого события и вероятностью реализации последствий. Под этой вероятностью и понимается уровень техногенного и экологического риска. Показатель "значимость—тревожность" имеет смысл численной характеристики возможных затрат на ликвидацию последствий ЧС.

Этот метод может быть уточнен, если ввести в рассмотрение нечеткие (размытые) множества интенсивности, выражающие степень опасности события (тяжесть последствий), т. е. получаем пример работы номинальной шкалы: 1 — нулевая; 2 — исключительно слабая; 3 — очень слабая; 4 — слабая; 5 — не слабая, не сильная; 6 — сильная; 7 — очень сильная; 8 — исключительно сильная; 9 — предельно сильная. Ниже перечислены множества, выражающие возможность возникновения экологически опасного события реализации последствий определенной степени тяжести: 1 — никогда; 2 — исключительно редко; 3 — очень редко; 4 — редко; 5 — не редко, не часто; 6 — часто; 7 — очень часто; 8 — исключительно часто; 9 — всегда.

С использованием этих категорий интенсивности проводится дальнейший экспертный анализ, представляемый в виде таблиц или графиков, относящихся к различным уровням показателя "значимость — тревожность". Из этих таблиц и графи-

ков уровень техногенного и экологического риска представляется не в численных оценках, а в шкале типа: очень низкий, низкий, средний, высокий, очень высокий. Такая шкала, как известно, называется номинальной [43, 44].

**2.3. Матрицы риска.** В последние годы широкое распространение получили так называемые матрицы риска, которые ошутимо облегчают процесс классификации и оценки риска. В РФ аналогичный подход представлен в ГОСТ Р 51901.4—2005 "Менеджмент риска. Руководство по применению при проектировании". Предлагаемая в упомянутом стандарте методика оценки риска основана на применении диаграмм (таблиц) в системе координат "Вероятность события/Последствия события".

Матрица риска показывает зависимость уровня (категории) риска от соотношения вероятности события и тяжести его последствий. Однако надо отчетливо понимать, что метод матриц риска весьма субъективен и близок по своей сути к методу экспертных оценок.

Существуют различные по форме матрицы. По содержанию все матрицы идентичны, разница лишь в количестве анализируемой информации и числе применяемых градаций. Существуют матрицы, в которых число ячеек составляет более 16 000. Понятно, что в таких матрицах обработка информации возможна только компьютерными методами.

Для каждого уровня риска устанавливаются действия и срочность мероприятий по минимизации возможных последствий рискованной ситуации. Иначе говоря, все матрицы риска обязательно дополняются вспомогательными таблицами, без которых они просто бесполезны.

Однако возможны и другие варианты матриц риска, в которых по одной из осей отложены не психолингвистические операторы, а численные значения некоторых значимых для данной задачи

Таблица 2

**Матрица, иллюстрирующая соотношения между количественными оценками индекса качества, качественным и количественным уровнем экологического риска и уровнем экологической безопасности**

Численные значения индекса качества $\mu_{ij}$	Качественная характеристика уровня экологического риска	Примерное численное значение уровня экологического риска $R$	Уровень экологической безопасности $S$
0,01	Катастрофический	Риск близок к единице	Минимальный и равен единице
0,01	Запредельный	0,9	1,1...1,2
0,15...0,2	Критический	0,8	1,2...1,3
0,2...0,4	Опасный	0,7	1,3...1,4
0,3...0,5	<b>ЗОНА ЭКОЛОГИЧЕСКОГО РИСКА</b>	0,7...0,5	1,5...2,0
0,5	Допустимый	0,5	2,0...2,2
0,6	Приемлемый	0,4	2,2...2,5
0,7	Удовлетворительный	0,3	2,5...3,3
0,8	Хороший	0,2 и меньше	3,3...5,0
Свыше 0,9	Фоновый	0	Свыше 5, максимальный уровень может быть принят равным 10

показателей. Такая матрица риска, разработанная авторами, приведена в табл. 2 [12, 32, 43] (определение индекса качества  $\mu_{ij}$  и уровня экологической безопасности  $S$  дано ниже).

Разработанная матрица успешно применена при качественной и полуколичественной оценке не только риска, но и уровня экологической безопасности компонентов природной среды в Санкт-Петербурге, в Балтийском регионе, в ряде городов Краснодарского края. Эта матрица показала свою работоспособность и принята органами, ответственными за проведение экологической политики, в качестве дополнительного инструмента оценки и управления рисками и уровнем экологической безопасности на подведомственных им территориях [42—44].

**2.4. Метод карт риска.** Карты риска как важный элемент системы оценки и управления риском, сравнительно давно применяются на Западе, а теперь и в России.

Существует несколько взглядов на метод карт риска. Один из них — позитивный. Сторонники этого метода настаивают на применении западных подходов без всяких изменений. Другой взгляд, а это мнение многих российских ученых, состоит в том, что в том виде, в котором он представлен на западе, метод не работоспособен. И они скорее правы, чем те, кто готов безоговорочно его принять. Их аргументация состоит в следующем.

1. Громоздкие системы в условиях России не работоспособны (карты риска в западном варианте дополняются огромным количеством вспомога-

тельного материала, который не всегда доступен и в котором может разобраться только специалист, а не чиновник).

2. В России для применения карт риска отсутствует соответствующая нормативно-правовая база.

3. Карты риска могут быть более объективными, если при их составлении с помощью опроса населения и учета их опыта проживания рядом с опасным объектом, уточняются те данные, которые получены иным путем. Однако в России не работает обратная связь, т. е. мнение населения для власти неинтересно.

По мнению авторов, карты риска — полезная вещь в зависимости от формы представления информации. Здесь проявляется важная часть риска как инструмента, с помощью которого строится прогноз ситуации на перспективу. Пример приведен на карте побережья Черного моря в Краснодарском крае (рис. 2). Эта карта, разработанная авторами, представлена в работах [28, 43]. Линии на карте — это изолинии, то есть линии равных значений риска. Такое представление риска весьма удобно для лиц, принимающих решение (ЛПР), так как этот метод очень нагляден, и, если построить ряд таких изолиний через определенные интервалы времени, то можно видеть основные тенденции в эволюции риска, что может ЛПР помочь в планировании и организации мероприятий по снижению рисков и смягчению последствий высоких рисков загрязнения соответствующего компонента природной среды.

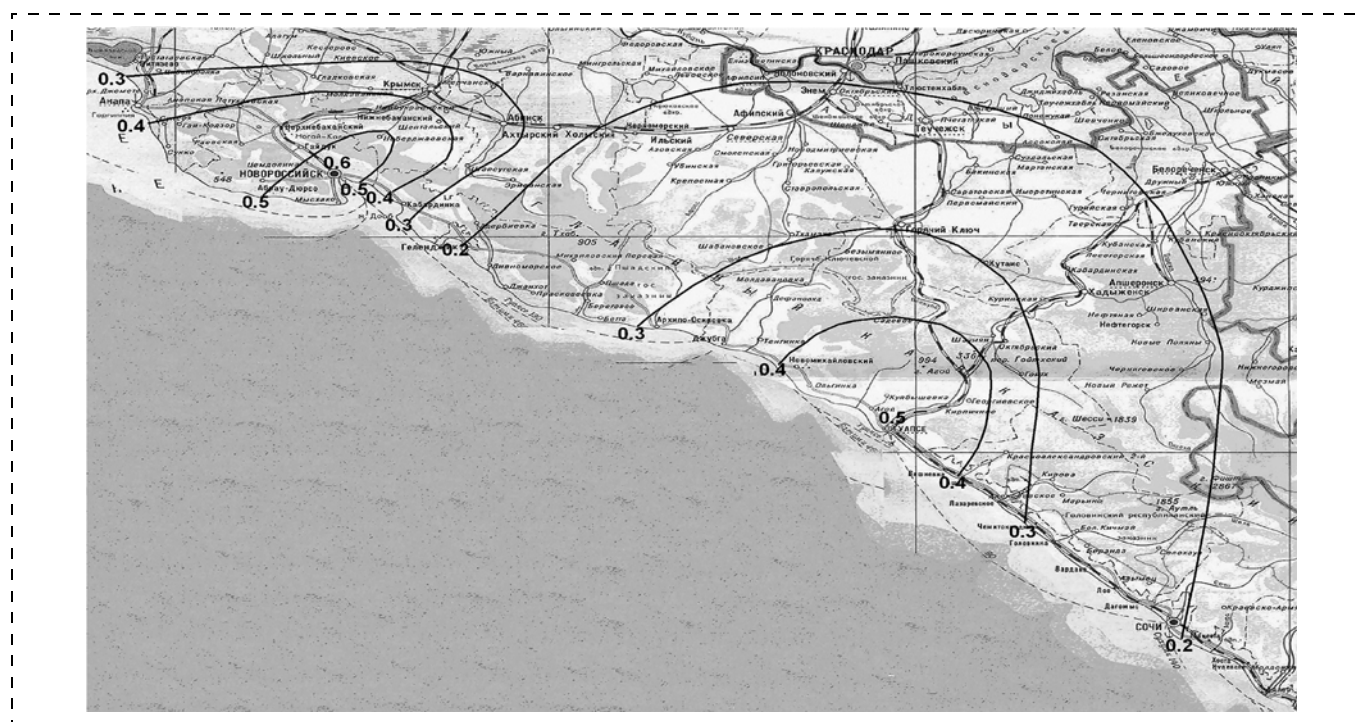


Рис. 2. Карта риска, отражающая уровень риска для атмосферного воздуха побережья Краснодарского края

### 3. Вопросы количественной оценки риска

**3.1. Процесс и методология.** Методология количественной оценки риска в отдельных конкретных случаях разработана достаточно детально. Так, например, оценка экологического риска воздействия химических веществ на состояние здоровья населения начала использоваться в США с 1980-х годов. Было разработано значительное количество методов для установления различных видов риска и различных причин, обусловивших необходимость проведения такой оценки. На сегодняшний день эта методология широко применяется в большинстве развитых стран мира и рекомендована Всемирной организацией здравоохранения в качестве ведущего инструмента при определении количественного ущерба для здоровья от воздействия неблагоприятных факторов окружающей среды.

Существуют также и другие подходы к изучению и количественной оценке рисков, связанных со здоровьем и безопасностью человека:

— методы страховой статистики, основанные на массовом наблюдении случаев утраты здоровья из-за несчастных случаев и заболеваний;

— методика оценки риска по шкале Россера, используемая для количественного анализа детерминированных эффектов;

— оценка риска для пороговых и беспороговых токсикантов и еще многое другое.

В "Красной книге" (Национальная академия США) сформулирован важный вывод о том, что процесс правового регулирования риска должен разделяться на две независимые части — оценка риска (risk assessment) и управление риском (risk management). С этой точкой зрения можно согласиться лишь отчасти.

Использование в законодательстве параметров риска требует точного количественного определения двух важнейших понятий — пренебрежимо малого риска и максимально допустимого (приемлемого) риска. Первый из них называют "de minimis" риск (от известного выражения "De minimis non curat lex"), для характеристики второго служит так называемый de manifestis риск.

Если рассматриваемый экологический риск признается de minimis риском, то это означает, что уровень данного риска в силу своей малости не может быть надежно выявлен на фоне уже имеющихся рисков и поэтому им можно пренебречь. De manifestis риском считают границу между максимально допустимым и недопустимым рисками, за этой границей лежит область безусловной опасности. Выявление de manifestis риска должно повлечь за собой принятие немедленных мер (как правовых, так и технологических) по его снижению.

Таким образом, сформировались достаточно общие принципы и подходы к количественной оценке экологического риска.

Исходя из анализа вопроса в целом, приведем рекомендации, позволяющие упорядочить и формализовать процедуру количественной оценки риска. Содержание этих рекомендаций может, в частности, состоять в следующем [3, 8, 27, 29]:

1) определение и четкая формулировка целей при разработке способа оценки риска;

2) определение основных структурных уровней в общей схеме расчета риска;

3) определение основных подсистем общей схемы расчета риска;

4) предлагаемые схемы расчета рисков не должны быть громоздкими;

5) количество подсистем и количество элементов системы расчета должно быть минимальным;

6) каждый элемент и каждая подсистема общей схемы оценки риска должны иметь четкое функциональное назначение;

7) между элементами и подсистемами общей схемы должны существовать четко определенные и действенные прямые и обратные связи;

8) жизнеспособность схемы расчета риска должна быть обеспечена достаточным количеством необходимых данных;

9) в систему расчета риска должны входить только такие элементы, работоспособность и эффективность которых проверена практикой;

10) в расчетную схему оценки риска целесообразно вводить процедуру итерации (многократного повторения).

Из определения экологического риска следует, что надо уметь, прежде всего, считать вероятности наступления нежелательных событий. Под нежелательными событиями понимаются негативное влияние агента(ов) на здоровье человека и на окружающую среду.

**3.2. Подходы к оценке вероятностей возникновения нежелательных событий.** Вероятности возникновения нежелательных событий выражаются через частоту их появления. Возникло выражение "частость риска". В этой связи в литературе появилось множество данных в форме таблиц, иллюстрирующих среднюю частость того или иного события [2, 4, 7].

В общем случае для определения вероятности  $P$  анализируются экологические эффекты и факторы прогнозируемого негативного воздействия, оцениваются уровни возможных воздействий вредных веществ и излучений, масштабы их распространения с учетом ландшафтных и метеорологических условий, временные периоды их действия. К настоящему времени накоплено достаточно большое количество статистического материала по поражающим факторам радиоактивных и электро-



магнитных излучений, техногенных загрязнений воздуха, земель и вод, аварий на производстве и транспорте. По многим вопросам пространственно-временного распространения вредных веществ также получены добротные статистические материалы.

В таком подходе удастся с единых позиций оценить вероятности возникновения событий, приводящих к ущербу от загрязнения атмосферы, литосферы и водного бассейна, а также от деградации земель, размещения отходов, уничтожения природных ресурсов и т. п. [8].

**3.3. Оценка риска здоровью человека.** Для оценивания риска здоровью и жизни людей требуется установить соотношение, которое связывает определенное количество вредного вещества (токсиканта, канцерогена) с мерой вызванных им негативных последствий. Эта связь, которую часто называют соотношением "доза—отклик", или "доза—эффект", должна быть количественной. Для выявления ее характеристик необходимы специальные исследования, охватывающие эксперименты с животными и статистическую обработку наблюдений над людьми. На базе данных таких исследований можно создавать конкретные математические модели. Подобное моделирование позволяет прогнозировать результаты воздействия токсикантов (канцерогенов) на людей. В этом состоят основные задачи количественного оценивания риска, обусловленного загрязнителями среды обитания.

Пути решения таких задач существенно различаются в зависимости от того, являются ли рассматриваемые вредные вещества пороговыми или беспороговыми. Кроме того, подход к этим задачам зависит от вида контингента риска, который может охватывать всех жителей подвергшейся загрязнению местности (население) или же только персонал, имеющий дело с загрязнением на рабочих местах.

Не имея возможности подробно рассматривать эти вопросы в данной статье, отметим, что к числу моделей, позволяющих оценивать требуемые вероятности, можно отнести следующие: 1. "Доза-эффект"-модели. 2. Пробит-модели. 3. Модели, основанные на теории попадания (hit theory — англ.). 4. Модели, использующие определенные виды распределений (например, распределение Пуассона, распределение Вейбулла и т. д.). 5. Иные модели.

В каждой из перечисленных моделей практически всегда оцениваются риски, связанные с угрозами здоровью человека. Однако экологические риски, связанные с потерей качества самой окружающей среды, не затрагиваются. Считается, что традиционные методы оценки экологического состояния компонентов окружающей среды через концентрации загрязняющих веществ (перечень которых устанавливается нормативными документами) решают эту задачу. Но это не так. В рамках "загрязняюще-ресурсной" парадигмы, в которой, по существу, рассматри-

вается только химическая составляющая, эта оценка приближенная, т. е. сохраняется высокая степень неопределенности [10, 11, 33, 34, 40].

В этой связи была поставлена задача разработки нового метода количественной оценки качества компонентов природной среды, испытывающих техногенное воздействие. Изложим в кратком виде наработки авторов по этому вопросу.

**3.4. Концепция индикаторно-рискологического подхода.** Этот подход естественным образом связан с идеями индексной квалиметрии, которую можно определить как науку, содержащую теорию измерения и оценку качества или отдельных показателей качества феноменов и процессов в пространстве и во времени с помощью индексов. Разновидность индекса — индекс качества естественным образом можно связать с риском. Так появился индикаторно-рискологический подход, который достаточно уверенно пробивает себе дорогу и все шире применяется на практике.

Рассмотрим кратко суть подхода в упрощенном варианте. Оговоримся, что в данном случае речь идет только о физических индикаторах, т. е. таких, которые могут быть измерены инструментальными методами. Более подробное изложение концепции индикаторно-рискологического подхода для всех типов индикаторов, а также расчетные формулы можно найти в работах [8, 12—15, 24—27, 29, 43].

**Главные компоненты окружающей среды:** атмосферный воздух, вода, почва.

*Составляющие* — это дисциплинарные (предметные) области, в которых проводится исследование окружающей среды, — *химическая, физическая, биотическая.*

*Направления (классы)* — аспекты исследования, внутри каждой из составляющих: *состав, свойства, процессы, явления (эффекты).*

*Индикатор* — метка, сигнал, указатель, либо мера свойства, мера величины, мера параметра характеристики процесса. Индикатор может быть также определен как эквивалент индуцируемого явления. В категории экология индикаторы можно ранжировать следующим образом: *простые, обобщенные (агрегированные), интегральные и комплексные.*

*Индекс* — мера отклонения от уровня, принимаемого за базовый.

*Индекс качества* — мера качества исследуемого объекта по отношению к эталону качества, выраженная через индикаторы и коррелирующая с мерой риска.

Индикаторы должны удовлетворять правилам отбора, т. е. быть: *научно обоснованными, иметь ясную интерпретацию, обладать способностью к агрегированию, обладать требуемой чувствительностью.*

Введем четыре типа индикаторов и индексов: *простые, агрегированные, интегральные и комплексные.* Такая классификация индикаторов и

индексов позволяет скорректировать и согласовать как вопросы терминологии, так и вопросы свертки и генерализации информации.

*Риск экологический R* в первом приближении — эта величина пропорциональна отклонению от эталона качества. Качество и риск можно измерять в сопоставимых шкалах.

*Экологическая опасность  $\Omega$*  — угроза изменения состава или свойств окружающей среды, либо появление изменений, связанных с возникновением в ней нежелательных процессов, обусловленных антропогенным воздействием. Смысл данного определения — вероятностный. Это значит, что диапазон изменений этой величины от 0 до 1. Применительно к человеку экологическая опасность — это угроза здоровью и самой жизни человека.

*Экологическая безопасность  $S = 1/\Omega$*  — величина, обратная экологической опасности, имеет диапазон изменений  $1 \dots \infty$ . Для практических целей вполне достаточно оперировать диапазоном  $1 \dots 10$ . Введенное определение экологической безопасности справедливо, если источник и приемник риска сосредоточены в одном объекте. При этом шкала измерений становится нелинейной.

*Приемлемый уровень риска* — как показывают проведенные исследования и практика сопоставления разных методов оценки риска уровень приемлемого риска в шкале  $0 \dots 1$  может быть существенно разным. Например, для риска потери качества атмосферного воздуха приемлемый уровень риска соответствует численному значению равному  $0,3 \dots 0,4$ . Все риски выше этих значений следует рассматривать как неприемлемые.

*Уровень экологической безопасности*, отвечающий уровню приемлемого риска может быть равен  $2,5 \dots 3,3$ .

Количественные оценки качества компонентов природной среды можно провести: с помощью индикаторов, индексов качества, либо привлекая понятие экологического риска.

Рассмотренный подход допускает многовариантную форму графического представления результатов расчета обобщенного индекса качества или экологического риска для любого компонента природной среды. Вариант такого представления, удобного для восприятия ЛПР, изображен на рис. 3.

Необходимо отметить, что рис. 3 является статической графической интерпретацией экологической ситуации по обобщенному показателю — индексу качества или риску в химической составляющей в классе "состав". Экологические возмущения и другие факторы, обусловленные техногенным воздействием, ухудшают качество компонентов окружающей среды, т. е. повышают экологические риски. Нормальной можно считать ситуацию, при которой изменения значений индекса качества (риска) заключены между границей верх-



Рис. 3. Графическое представление оценки качества атмосферного воздуха: "а" — нижний допустимый уровень экологической безопасности; "б" — верхний приемлемый уровень экологического риска

него приемлемого уровня экологического риска "б" и нижним допустимым уровнем экологической безопасности "а".

Устойчивость состояния означает, во-первых, способность самой системы самоочищаться и возвращаться в исходное состояние (принцип Ле Шателье при малых воздействиях); во-вторых, в условиях техногенного давления устойчивость состояния системы должна обеспечиваться также повседневной целенаправленной деятельностью человека, воздействующего на это состояние посредством управляющих параметров.

Оценить устойчивость можно также с помощью методики ESI-индикаторов устойчивости, разработанной большой группой стран в рамках Комиссии по глобальной экологии и Комитета по устойчивому развитию ООН.

Надо отметить, что разработанный подход весьма успешно работает на практике и вызывает все больший интерес у специалистов и ЛПР. В последние годы он применялся и применяется как в России, так и за рубежом. На базе этого подхода выполнены оценки качества компонентов природной среды ряда городов Краснодарского края, Северо-западного региона России, бореальных территорий России, Балтийского региона, Санкт-Петербурга и пр.

**3.5. Воздействие на окружающую среду вследствие реализации мероприятий по подготовке к Олимпиаде Сочи-2014. Рискологическая оценка [28].** Из анализа мероприятий, подлежащих реализации при подготовке к Олимпиаде Сочи-2014, можно идентифицировать риски, генерируемые ими. Для их последующей количественной оценки наиболее предпочтительным является использование предлагаемой в рамках индикаторно-рискологического подхода схемы, в которой риски подразделяют на реальные, потенциальные и мнимые.

Рассмотрим ряд реальных рисков и назовем их **главными рисками**.



Первый риск  $R_1$  связан с резким увеличением количества транспортных единиц.

Второй риск  $R_2$  обусловлен резким увеличением количества твердых бытовых отходов (ТБО).

Третий риск  $R_3$  связан с более, чем вдвое, ростом числа объектов энергоснабжения.

Четвертый риск  $R_4$  связан со строительством дорог как основных, так вспомогательных и временных.

Пятый риск  $R_5$  генерируется инженерной инфраструктурой.

Шестой риск  $R_6$  обусловлен более активным поступлением нефтепродуктов в береговую часть моря.

Седьмой риск  $R_7$  связан с вероятностью резкого ухудшения качества морской экосистемы.

Восьмой  $R_8$  — риск человеческого фактора.

Помимо указанных рисков весьма вероятно "всплытие" **мнимых рисков** и превращения их в потенциальные и реальные.

Общий риск  $R$  назовем полным риском и будем в первом приближении считать его равным сумме всех главных рисков с соответствующими весовыми коэффициентами  $w_i$ :

$$R = \sum w_i R_i.$$

Согласно данным, полученным в 2008 г., можно принять, что каждый из восьми рисков не превышает значения приемлемого риска, равного 0,3. Придадим всем рискам для наглядности одинаковую значимость, т. е. все  $w_i = 0,1$ . Тогда  $R$  (2008 г.) = 0,24. Это значение полного риска примем за начало отсчета.

В плане прогноза возможного значения полного риска  $R(2014)$  рассмотрим конкретный пример и оценим значение риска  $R_1$  в 2014 г. Расчет риска загрязнения атмосферного воздуха выхлопными газами автотранспорта в 2014 г. проводился с привлечением индикаторно-рискологического подхода, а также метода аналогий и сопоставлений (табл. 3).

Выявленный на основании численных оценок тренд — это увеличение полного риска. В итоге можно предложить обратить внимание на необходимость:

- добиваться выполнения в полном объеме всех запланированных природоохранных мероприятий;
- увеличения количества защитных сооружений и повышения их качества;

- увеличения финансирования на экологические мероприятия, доведя их до общепринятых мировых стандартов;
- держать под пристальным вниманием вопросы обеспечения экологической безопасности г. Сочи и прилегающих урбанизированных территориях при последующем стратегическом планировании и корректировке конкретных действий в процессе строительства объектов и инфраструктуры Олимпиады Сочи-2014.

#### 4. Управление экологическими рисками

**4.1. Подходы к управлению рисками в сложных системах.** Традиционно во многих странах мира, в том числе в России и в США в последние десятилетия XX века и в начале XXI века управление риском основывалось на использовании командно-административных методов, которые требовали соблюдения природоохранных стандартов за счет применения специальных технологий. Непосредственно управление было сфокусировано на осуществлении контроля за отдельными источниками опасности и загрязнений и тем воздействием, которое они оказывают на человека и природу [2, 3, 5, 8].

Однако не всегда командно-административные методы приводят к желаемым результатам потому, что существующие проблемы обеспечения экологической безопасности и управления риском являются комплексными и имеют множественные источники возникновения. Эти источники тесно связаны с другими факторами опасности, что и обуславливает необходимость учета фактора множественных рисков.

Известно, по крайней мере, восемь способов управления рисками, но ни один из них, взятый в отдельности, проблему управления риском не решает. Кроме того, по тем или иным причинам не все способы можно применить в данной конкретной ситуации. На практике приходится применять несколько методов, используя наработки многих наук, т. е. междисциплинарный подход или одну из его разновидностей — системный подход.

Чаще всего с реализацией управления на практике связывают понимание управления как функции и как процесса. Управление, понимаемое как процесс, — одна из наиболее распространенных точек зрения. В качестве примера рассмотрим

Таблица 3

Представление экологической информации посредством индексов качества и риска для атмосферного воздуха г. Сочи в 2008 и 2014 гг.

Город	Индекс качества $\mu$	Качественная характеристика уровня экологического риска $R$	Примерное численное значение уровня экологического риска $R$	Уровень экологической безопасности $S$
Сочи	0,9 — 2008 г. 0,7 — 2014 г.	Вполне приемлемый Удовлетворительный	0,1 — 2008 г. 0,3 — 2014 г.	3,3...4,0 — 2008 г. 2,5...3,5 — 2014 г.



схему управления рисками, разработанную авторами [2, 16, 30–32].

Первое требование к такой схеме — это простота и компактность.

Второе — гибкость и универсальность, что позволит применять ее в самых разнообразных ситуациях.

Третье — наличие возможности применения широкого спектра мероприятий, видов и объемов привлекаемых средств и ресурсов. Последние могут варьироваться в зависимости от степени важности проблемы и возможных экономических последствий наступления опасной ситуации.

Четвертое — согласование с системами принятия решений в соответствии с уровнем их ответственности.

Представим схему в виде ряда последовательных шагов.

Шаг первый — целеполагание, т. е. четкая формулировка цели.

Шаг второй — анализ источников экологической опасности и связанных с ними фисков.

Шаг третий — исследование возможных методов и подходов по снижению уровня существующей и потенциальной опасности.

Шаг четвертый — планирование мероприятий и принятие решения о реализации того или иного мероприятия.

Шаг пятый — первая проба реализации принятого решения.

Шаг шестой — осмысление и оценка полученных результатов, принятие решения о целесообразности повтора применения спланированных мероприятий.

Эти шесть шагов можно рассматривать как своего рода программу (алгоритм) управления рисками.

В систему управления могут поступать следующие данные [25]:

- об однородных экологических рисках, происходящих не от одного, а от многих источников опасности;
- новых, ранее неизвестных или не учтенных опасностях, исходящих от объектов, которые создал человек;
- о вредных воздействиях объектов и их взаимодействии между собой на окружающую среду и человека; обладают ли оказываемые воздействия кумулятивным эффектом;
- сопоставительные о воздействиях, производимых в результате наступления иного рода опасных ситуаций и их последствий.

Сам процесс управления рисками в рамках конкретной ситуации включает в себя оценку различных источников опасности, рассмотрение схожих рисков, а также экспертное определение вклада (весовых множителей) различных источников в создание опасной ситуации. В качестве конечной цели

сформулированного подхода можно назвать создание модели, на основе которой будет возможно:

определить уровень существующих экологических рисков на данный момент времени;

дать краткосрочный прогноз наиболее вероятных последствий принятых управленческих решений;

направить силы и ресурсы в ту область, где их использование может дать заметные результаты.

Участие всех заинтересованных сторон также является важной составляющей на пути принятия и успешной реализации научно-обоснованных и экономически эффективных решений в области управления экологическим риском.

**4.2. Новый контекст системного подхода в проблеме управления рисками.** В его основе лежит понятие системного мышления, которое контекстуально и является собой противоположность аналитическому мышлению. Анализ означает отделение чего-либо для того, чтобы понять его. Системное мышление означает помещение чего-либо в более обширный контекст целого.

Новый контекст системного подхода рассматривается как область знания, т. е. как методология, содержащая набор методов, способов и приемов, а также идей и представлений, объединенных в понятие "системный подход" в новой интерпретации. Новое понимание означает, что при системном подходе свойства частей системы могут быть выведены только из организации целого [24–27, 30, 31]. Иначе говоря, не только части определяют систему, но и система определяет свои части. Взаимосвязи между частями системы и самой системой взаимозависимы и взаимообусловлены. Это обстоятельство существенно меняет взгляд на идентификацию и анализ риска, а также на величину субъективной оценки риска, что влияет на организацию процесса управления риском.

В этом подходе процесс управления риском должен реализовываться с учетом следующих обстоятельств.

1. Важнейшим элементом системного подхода в новом толковании к управлению рисками является понимание конфигурации взаимоотношений в системе. Конфигурация взаимоотношений — это паттерн организации системы, т. е. формы, включающей в себя качества (свойства) системы в целом. Отношения связаны со структурой, а структуры, рассматриваемые изнутри, — это отношения. С этой точки зрения, необходимо выявлять (идентифицировать) и анализировать риски.

2. В рассмотрение процесса управления необходимо включить понятие организованной сложности. На каждом уровне сложности наблюдаемые явления обладают свойствами, которые не существуют на более низких уровнях. В силу сказанного в данном подходе должны задаваться пороговые уровни сложности, которые на данный момент



можно понять и описать. Это обстоятельство предопределяет уровень описания.

3. Отличие нового толкования системного подхода от традиционного означает необходимость перехода к новому пониманию управления экологическими рисками.

В соответствии с новым подходом основное внимание уделяется исследованию проблемы в целом и анализу всех связанных с ней рисков (концепция множественности рисков должна рассматриваться как поле рисков). Таким образом, задача управления риском требует выявления и предварительной проработки отдельных ее частей (элементов), всей схемы управления, объединенных общей целью, стоящей перед системой более высокого уровня сложности.

### 5. Приложения теоретических наработок к практическим задачам

Рассмотренные наработки были применены к отдельным ситуациям и видам хозяйственной деятельности с целью обогатить системы принятия решений дополнительным инструментарием, позволяющим повысить эффективность деятельности органов управления, снизить затраты на проведение соответствующих мероприятий, предотвратить органы власти от принятия ошибочных решений.

Для нужд практики были детально разработаны решения для перечисленных ниже задач и крупных проблем.

1. Управление безопасным функционированием сложных систем в условиях ЧС с использованием инструмента риска [18, 20, 30–32].

2. Применение методологии риска в управлении рекреационной деятельностью в прибрежной зоне [5, 6].

3. Инструмент риска в планировании мероприятий по осуществлению морской деятельности [29–32, 36].

4. Учет экологических рисков при стратегическом планировании хозяйственной деятельности на урбанизированных территориях [13–16].

5. Учет экологических рисков при проведении операций с нефтепродуктами [35–41].

6. Оценка рисков здоровью населения [9–11, 33, 34].

7. Управление функционированием особо опасного объекта с использованием методологии риска (на примере полигона по захоронению и утилизации опасных химических веществ — полигона "Красный Бор" в Ленинградской области) [42].

Отметим, что рассмотренные идеи, разработки и методические рекомендации уже нашли поддержку и свое применение в органах управления природоохранной политикой, в частности, в Краснодаре, Сочи и в Туапсинском районе Краснодарского края в Ленинградской области, в некоторых

странах СНГ. Проявляют к ним интерес Польша, Китай и другие страны.

### 6. Перспективы

Наука о риске, его оценке и ее неотделимая часть — наука управления риском — находятся в режиме поиска новых идей. В плане развития теории риска необходимо продолжать усилия по разработке положений, рассмотренных выше. Больше того, для дальнейшего развития рискологии, необходимо развитие таких междисциплинарных направлений как: философия риска; социология риска; социология быстрого реагирования; психология риска; математическая теория риска и безопасности; теория самоорганизованной критичности; нелинейная динамика и др.

Среди первоочередных задач следует указать на необходимость ранжированной систематизации природных и техногенных ЧС с выделением их характерных признаков, что является принципиальным условием реализации этапов рассмотренных выше методов оценки риска и процедуры принятия решения по управлению рисками.

### Список литературы

1. Музалевский А. А., Воробьев О. Г., Потапов А. И. Экологический риск — СПб.: Изд. СЗТУ, 2001. — 110 с.
2. Яйли Е. А., Музалевский А. А. Риск: анализ, оценка, управление: Научное издание. — СПб.: Изд. РГГМУ, 2005. — 232 с.
3. Потапов А. И., Воробьев В. Н., Карлин Л. Н., Музалевский А. А. Мониторинг, контроль, управление качеством окружающей среды. Научное, учебно-методическое, справочное пособие. В 3-х частях. Часть 3. Управление качеством окружающей среды. — СПб.: Изд. РГГМУ, 2006. — 598 с.
4. Карлин Л. Н., Абрамов В. М. Управление экологическими рисками: Учебное издание. — СПб.: Изд. РГГМУ, 2006. — 530 с.
5. Карлин Л. Н., Музалевский А. А. Технологии управления берегопользованием с применением инструмента риска. В книге: Современные концепции берегопользования. Том 1. — СПб.: Изд. РГГМУ, 2009. — С. 124–170.
6. Карлин Л. Н., Музалевский А. А. Управление рекреационной деятельностью в береговой зоне. В книге: Основные концепции современного берегопользования. Том II. — СПб.: Изд. РГГМУ, 2009. — С. 183–224.
7. Гидрометеорологические риски: Монография. Под ред. Карлина Л. Н. — СПб.: Изд. РГГМУ, 2008. — 280 с.
8. Музалевский А. А. Экология: Учебное пособие. — СПб.: Изд. РГГМУ, 2008. — 604 с.
9. Фрумин Г. Т. Диагностика, оценка и процессы управления экологическими рисками в городской среде. В коллективной монографии под редакцией Л. Н. Карлина и В. А. Шелутко "Экология и гидрометеорология больших городов и промышленных зон (Россия — Мексика). Том II "Мониторинг окружающей среды. СПб.: РГГМУ. — С. 151–172.
10. Фрумин Г. Т. Токсичность и риск ксенобиотиков для человека // Основы общей и экологической токсикологии: Учебн. пос. — СПб.: СпецЛит, 2009. — С. 312–331.
11. Фрумин Г. Т. Токсичность и риск загрязняющих веществ для человека // Экологическая химия и экологическая токсикология: Учебн. пос. — СПб.: Изд. РГГМУ, 2002. — С. 152–168.
12. Музалевский А. А. Новые подходы к решению проблемы обеспечения экологической безопасности окружающей среды на основе новой экологической парадигмы. 3-я Евроазиатская конференция по транспорту. Санкт-Петербург. 10–13 сентября 2003 года // Сборник научных статей

- "Пути решения экологических проблем транспортных коридоров". — С. 301—330.
13. **Музалевский А. А., Яйли Е. А.** Системный подход в проблеме управления экологическими рисками. Сборник Научно-методического семинара "Проблемы риска в социальной и техногенной сферах": Выпуск 4. Риск информационной безопасности. — СПб.: СПбГПУ, 2005. — С. 188—100.
  14. **Яйли Е. А., Музалевский А. А.** Управление экологическими рисками в контексте системного подхода // Научно-технические ведомости СПбГПУ. — 2006 — Т. 1. — С. 229—238.
  15. **Музалевский А. А., Яйли Е. А.** Методология и способ оценки качества компонентов природной среды урбанизированных территорий на основе индикаторов, индексов и риска // Экологические системы и приборы. — 2006. — Т. 12. — С. 23—30.
  16. **Яйли Е. А., Музалевский А. А.** Традиционный и коэволюционный взгляды на системные подходы к проблеме управления экологическими рисками // Управление риском. — 2006. — № 2. — С. 10—24.
  17. **Музалевский А. А., Яйли Е. А.** Что мы хотим определить, оценить и чем мы хотим управлять? Методологические аспекты проблемы риска // Управление риском. — 2006. — № 3. — С. 50—63.
  18. **Музалевский А. А., Яйли Е. А.** Управление безопасным функционированием сложных систем в условиях ЧС с использованием инструмента риска. Сборник Научно-методического семинара "Проблемы риска в социальной и техногенной сферах". Вып. 4. Риск информационной безопасности. — СПб.: СПбГПУ, 2005. — С. 76—87.
  19. **Музалевский А. А., Яйли Е. А.** Метод оценки качества компонентов окружающей среды на основе индикаторов и индексов устойчивого развития // Экологическая химия. — 2005. — Т. 14. — Вып. 4. — С. 266—274.
  20. **Музалевский А. А., Яйли Е. А.** Управление безопасным функционированием сложных систем в условиях ЧС с использованием инструмента риска // Безопасность жизнедеятельности. — 2006. — № 7. — С. 33—39.
  21. **Музалевский А. А., Яйли Е. А.** Управление техническими и экологическими рисками // Безопасность техносферы — 2006. — № 1 — С. 18—24.
  22. **Музалевский А. А.** Управление рисками по методике ЕРА и возможность ее применения в условиях России. 8-й Экологический форум "День Балтийского моря". Санкт-Петербург. 21—23 марта 2007 г. // Сборник тезисов. СПб., 2007. — С. 335—337.
  23. **Музалевский А. А.** Научно-методические основы устойчивого функционирования объектов экономики России. Научно-методический семинар "Проблемы риска в техногенной и социальной сферах" // Труды СПбГПУ. — СПб., 2008. — Вып. 6. — С. 82—90.
  24. **Музалевский А. А.** Методология риска как инструмент управления хозяйственной деятельностью: Научно-методический семинар "Проблемы риска в техногенной и социальной сферах" // Труды СПбГПУ. — СПб., 2008. — Вып. 6. — С. 91—98.
  25. **Музалевский А. А.** Управление безопасным функционированием сложных систем в чрезвычайных ситуациях с использованием инструмента риска: Первый международный ноосферный северный форум. Санкт-Петербург, 20—24 ноября 2007 // НООСФЕРИЗМ. Арктический взгляд на устойчивое развитие России и человечества в XXI веке. Книга 1. — СПб., 2007. — С. 377—394.
  26. **Музалевский А. А., Федоров М. П., Блинов Л. Н.** Нанохимия и наноматериалы: Экологические аспекты и риски. Фундаментальные исследования и инновации в технических университетах // Материалы XII Всероссийской конференции по проблемам науки и высшей школы. 14 мая 2008 г. — СПб.: Изд-во Политехнического университета, 2008. — С. 38—47.
  27. **Музалевский А. А., Яйли Е. А.** Концепция риска как инструмент управления хозяйственной деятельностью человека // Научно-технические ведомости СПбГПУ. — 2008. — 3 (58). — Т. 2. Экономические науки. — С. 13—20.
  28. **Карлин Л. Н., Музалевский А. А., Яйли Е. А.** Экологические риски, генерируемые реализацией ФЦП Сочи 2014. Идентификация и приближенная оценка для целей предварительного прогноза Геосистемы: Факторы развития, рациональное использование, методы управления // Материалы международной научной конференции. — Туапсе, 2008. — С. 157—162.
  29. **Карлин Л. Н., Музалевский А. А.** Индикаторно-рискологический подход к оценке качества компонентов природной среды и подготовки информации для систем принятия решений X Международный экологический форум "День Балтийского моря" // Сборник материалов. — СПб., 2009. — С. 182—184.
  30. **Карлин Л. Н., Музалевский А. А.** Системный подход к оценке и управлению экологическими рисками в новом контексте // Материалы Международной научно-практической конференции "ГЕОРИСК—2009". Проблемы снижения природных опасностей и рисков. — М.: РУДН, 2009. — С. 275—280.
  31. **Карлин Л. Н., Музалевский А. А., Яйли Е. А.** Концепция управления безопасным функционированием сложных систем в условиях ЧС с использованием инструмента риска // Материалы Международной научно-практической конференции "ГЕОРИСК—2009". Проблемы снижения природных опасностей и рисков. — М.: РУДН, 2009. — С. 306—310.
  32. **Музалевский А. А., Яйли Е. А.** Анализ риска как необходимый инструмент управления уровнем экологической безопасности на урбанизированных территориях // Экология урбанизированных территорий. — 2009. — № 2. — С. 56—61.
  33. **Фрумин Г. Т.** Загрязнение атмосферного воздуха в крупных городах России и риск здоровью // Экологическая химия. — 2002. — Т. 11. — Вып. 2. — С. 73—77.
  34. **Фрумин Г. Т., Жаворонкова Е. И.** Токсичность и риск воздействия металлов на гидробионтов // Экологическая химия — 2003. — Т. 12. — Вып. 2. — С. 93—96.
  35. **Фрумин Г. Т., Салова И. А.** Анализ рисков для водных экосистем при аварийных разливах нефти и нефтепродуктов // Материалы VIII Международных научных чтений "Белые ночи—2004" Риски в современном мире: идентификация и защита. — СПб.: МАНЭБ, 2004. — С. 128—131.
  36. **Карлин Л. Н., Еремينا Т. Р., Рыбалко А. Е., Федорова Н. К., Фрумин Г. Т.** Анализ риска экосистемы Балтийского моря при разгерметизации трофейного химического оружия // Материалы VIII Международных научных чтений "Белые ночи—2004" Риски в современном мире: идентификация и защита. — СПб.: МАНЭБ, 2004. — С. 219—222.
  37. **Фрумин Г. Т., Белов Д. М.** Оценка риска аварий танкеров. Оценка и управление природными рисками // Материалы Всероссийской конференции "Риск—2006". — М.: Изд. РУДН, 2006. — С. 279—281.
  38. **Фрумин Г. Т., Мохсен Абдулхаким Мохсен Ахмед.** Оценка риска для водных экосистем при аварийных разливах нефти и нефтепродуктов // Материалы межвузовской конференции "География и смежные науки. LXI Герценовские чтения" — СПб.: РГПУ им. А. И. Герцена, 2008. — С. 307—315.
  39. **Мохсен Абдулхаким Мохсен Ахмед, Фрумин Г. Т.** Анализ риска для водных экосистем при аварийных разливах нефти и нефтепродуктов // Современные проблемы науки и образования. — 2009. — № 4. — С. 76—81.
  40. **Фрумин Г. Т., Мохсен Абдулхаким Мохсен Ахмед.** Токсикологический аспект анализа рисков при аварийных разливах нефтепродуктов // Материалы Международной научно-практической конференции "ГЕОРИСК—2009". Том 2. — М.: Российский университет дружбы народов, 2009. — С. 219—223.
  41. **Мохсен Абдулхаким Мохсен Ахмед.** Методика прогнозирования экологических рисков аварийных нефтеразливов на водной поверхности. Специальность 25.00.36 — Геоэкология. — СПб.: РГМУ, 2010.
  42. **Марова А. В.** Моделирование сценариев развития опасных ситуаций на полигоне "Красный Бор" и методы их адаптации на основе рискологического подхода. Дисс. на соиск. уч. степени канд. геогр. наук. — СПб.: РГМУ, 2010.
  43. **Яйли Е. А.** Теория и технологии оценки и управления урбанизированными территориями на основе индикаторно-рискологического подхода. Дисс. ... д-р. геогр. наук. — СПб.: РГМУ, 2009.
  44. **Ярмак Л. П.** Методы и технологии экологической оценки и управления природно-техническими системами при проведении операций с нефтью (на примере прибрежной зоны Краснодарского края). Дисс. ... д-р геогр. наук. — СПб.: РГМУ, 2010.



УДК 574:005

**П. П. Бескид**, д-р техн. наук, проф., **А. Д. Шишкин**, канд. техн. наук., доц.,  
Российский государственный гидрометеорологический университет,  
г. Санкт-Петербург  
E-mail: mit@rshu.ru

## Об опыте проведения экологического мониторинга состояния морской поверхности радиолокационными средствами

*Рассмотрена целесообразность использования наземных береговых или судовых радиолокационных станций для экологического мониторинга прибрежных акваторий, методология и принципы их использования для обнаружения и идентификации нефтяных разливов. Предложена схема территориально-распределенной системы мониторинга водной поверхности. Приведены результаты натурного эксперимента по обнаружению и идентификации масляного пятна на водной поверхности. Описана последовательность применения различных алгоритмов по обработке радиолокационных изображений с демонстрацией рисунков.*

**Ключевые слова:** радиолокационная станция, экологический мониторинг, радиолокационное изображение, алгоритмы, нейронные сети, нефтяные разливы.

**Beskid P. P., Shishkin A. D.** *About experience of carrying out of ecological monitoring of a condition of a sea surface by radar-tracking means*

*Land-based (ship) radar usage experiency for coastal ecological monitoring, oil spill detection methodology and principles are considered. A geographically distributed water surface monitoring system scheme is proposed. Results of an experiment on location for Oil spill detection and Identification on water surface are given. The use of different algorithms for radar image processing with pictures display is described.*

**Keywords:** radar station, ecological monitoring, the radar-tracking image, algorithms, neural networks, oil floods.

### Введение

Изучение и освоение Мирового океана, рациональное использование его природных ресурсов и защита морской среды от антропогенного загрязнения требуют использования современных недорогих, оперативных информационно-измерительных

технологий, направленных на выявление и идентификацию аномалий на морской поверхности.

Современные технологии экологического мониторинга морской поверхности (МП) ориентированы в основном на контроль больших областей. Для этого используются спутниковые радары с синтезированной апертурой. Более десяти лет неавтоматизированное раннее обнаружение разливов нефти в Северной Европе обеспечивается спутниками ERS-1 и ERS-2. С помощью спутниковых радаров ENVISAT реализуется периодический обзор Средиземного моря.

Возникновение и развитие опасных факторов может провоцироваться различными причинами. Особую опасность представляют нефтеналивные порты, трубопроводные системы и морские пути нефтеналивных танкеров. Для снижения рисков и повышения экологической безопасности важно определить разливы нефти на ранних стадиях их появления [1].

В 2005—2008 гг. в рамках исследовательского проекта Евросоюза Remote monitoring of oil spills the coastal area Contract No.: Tacis CBC Projekt N 2005/100-731, реализованного рядом вузов г. Санкт-Петербурга (СПбГПУ, РГГМУ) и Королевским университетом г. Стокгольма, была выполнена работа на кафедре "Морские информационные технологии" РГГМУ по разработке и апробации прототипа системы дистанционного обнаружения нефтяных разливов. В проекте предлагалось применение модернизированных радиолокационных станций (РЛС) берегового и судового базирования для мониторинга экологической обстановки в прибрежных акваториях, а именно обнаружение и идентификация нефтяных разливов.

### Обоснование использования РЛС для экологических исследований

Главным фактором, определяющим целесообразность использования наземных РЛС для экологического мониторинга прибрежных акваторий, является экономический фактор. Стоимость береговой РЛС несоизмеримо меньше стоимости спутникового радара. Стоимость орбитальных систем составляет десятки миллионов долларов США.

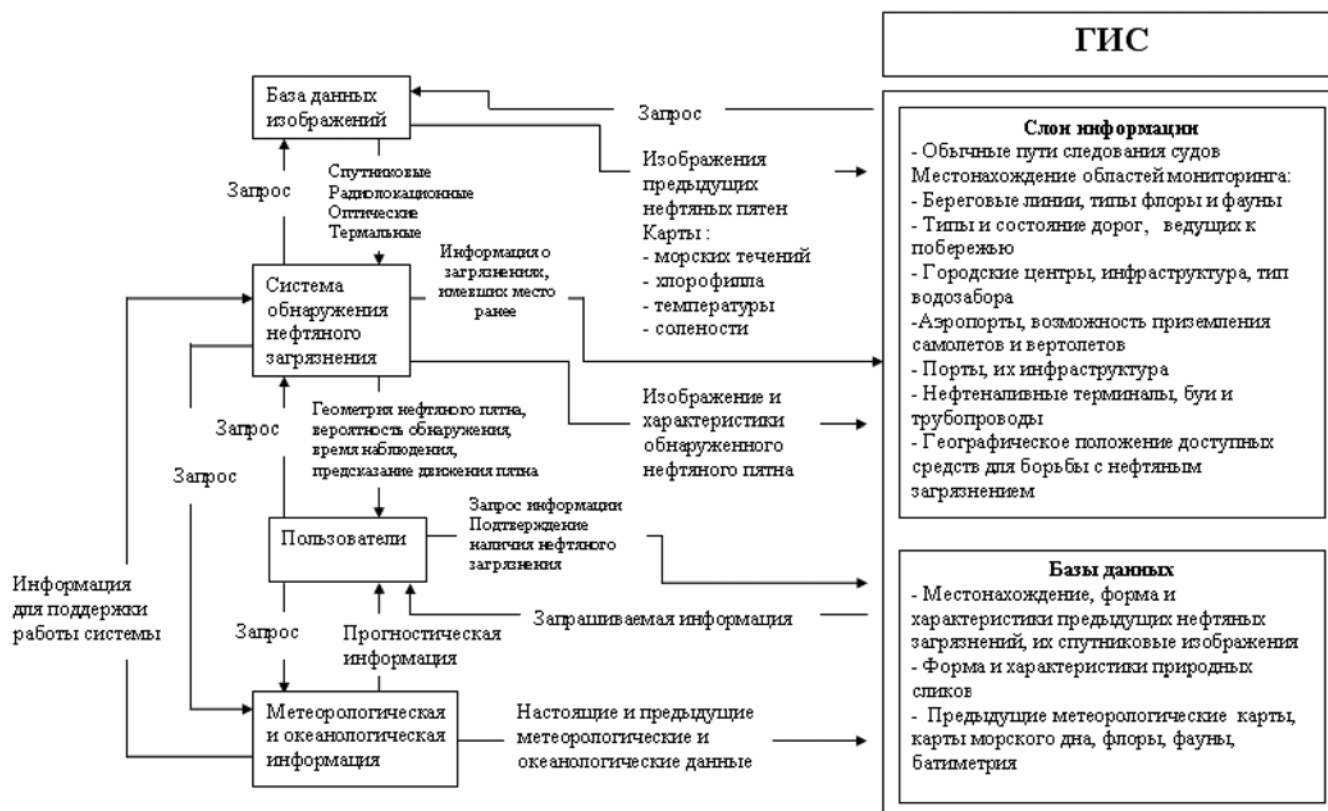


Рис. 1. Схема территориально-распределенной системы мониторинга водной поверхности

Хорошая серийная судовая РЛС стоит немного больше 10 тыс. долл. Кроме того, такие системы обладают большой оперативностью и всепогодностью. Они могут рассматриваться как дополнение к спутниковым системам.

Определение наличия нефтяной пленки на морской поверхности с помощью РЛС осуществляется на основе радиолокационного контраста, т. е. различия интенсивностей и доплеровских спектров сигналов при отражении от чистых и загрязненных участков водной поверхности, имеющего место при наличии волнения на морской поверхности. Различия связаны с частичным гашением волнения в пределах нефтяного пятна из-за большего по сравнению с чистой водой поверхностного натяжения нефтяной пленки.

Принимая во внимание процессы трансформации нефтяного загрязнения в воде, основными принципами работы системы мониторинга водной поверхности должны быть оперативность и автоматизация обработки данных. Оперативность подразумевает поступление данных в режиме реального времени. Автоматизация обработки данных должна обеспечить средство поддержки принятия решений и подразумевает функционирование системы на промежуточных этапах обработки данных без вмешательства человека-оператора. Целью ав-

томатизации является сокращение временных рамок принятия решения по классификации объекта наблюдения и выработке прогноза развития чрезвычайной экологической ситуации.

Обобщенная схема территориально-распределенной системы мониторинга водной поверхности представлена на рис. 1 [2].

Территориально-распределенная система мониторинга водной поверхности позволяет решить следующие задачи:

- оперативно оценить причины развития экологических кризисов в водной среде, сузить зону их оперативного поиска, разработать научно обоснованные природоохранные мероприятия;
- создать информационную базу водных экосистем;
- систематизировать экологическую информацию, используя структуру информационной базы;
- оперативно оценить возможные экономические последствия экологической катастрофы;
- оценить остроту экологической ситуации в акватории;
- разработать прогноз возможных экологических изменений в водной среде.

Геоинформационная система (ГИС), являющаяся неотъемлемой частью системы дистанционного мониторинга водной среды, обеспечивает создание комплексной базы данных по гидрофи-



зическим, гидрохимическим, биологическим, атмосферным характеристикам районов акваторий и зоны сопряжения "суша—море". Она позволяет хранить, осуществлять поиск, анализировать и визуализировать информацию, служащую для поддержки принятия решений при экологическом мониторинге водной среды. На основе данных ГИС осуществляется также комплексное представление водной экологической информации в виде экологических карт акваторий, что является основой диагноза благополучия состояния водной среды.

В настоящее время такие карты составляются только эпизодически. При функционировании комплексной системы мониторинга, имеющей в своем составе ГИС, составление таких карт должно быть периодическим или непрерывным.

Комплексную систему дистанционного мониторинга водной среды можно определить как совокупность радиолокационных станций берегового базирования, автономных вычислительных узлов, взаимодействующих для достижения наилучшего результата в смысле точности определения местоположения и характеристик загрязнения.

Так как в системе используются различные аппаратные средства, то для их взаимодействия используются различные протоколы. Это требует наличия шлюзов для трансляции протоколов. Так как требования к ресурсу связи каждого модуля не являются постоянными, что требует организации сеансов связи в произвольные моменты времени, то их взаимодействие происходит в асинхронном режиме, и протоколы связи должны быть событийно-управляемыми.

### Результаты экспериментальных исследований

Обработка радиолокационных данных, полученных в ходе зондирования морской поверхности, должна осуществляться в два этапа. Для первичной обработки радиолокационных сигналов используются алгоритмы обнаружения и выделения сигнала, включающие длительное накопление сигналов во времени для получения контрастных радиолокационных изображений, логарифмирование амплитуд принимаемых сигналов, режекцию (или бланкирование) неизменных элементов изображения.

Второй этап заключается в оцифровывании первичных данных и последующей обработке их разработанными алгоритмами для получения более контрастных изображений. Нефтяные пятна на морской поверхности представляются темными пятнами, проявляют на радиолокационном изображении большую прерывистость по сравнению с цветом фона, в основном, за счет своей вязкости. Основываясь на этом, был предложен следующий алгоритм обработки [3]:

- выделение области изображения, содержащей темный объект;

- вычисление физических и геометрических характеристик объекта;
- классификация объекта как нефтяного пятна или ветрового слика.

Нефтяные пятна имеют меньшую сложность и более тонкую форму, чем ветровые слики, средние значения градиента вдоль границ у нефтяного пятна выше, чем у ветровых сликов, которые обычно протяженнее, чем нефтяные пятна.

Экспериментальная апробация основных теоретических предпосылок и практическая проверка их путем периодического наблюдения морской акватории проводилась в районе г. Приморска Ленинградской области в период июнь–октябрь 2006 г. модернизированной РЛС "Furuno FR-7062" и измерительным комплексом, включающим в себя систему визуального сопровождения испытуемого объекта [4].

Для обнаружения нефтяных пятен в пакете Matlab была разработана программа, интерфейс которой предусматривает возможность ввода пользователем снимка с выбранным разрешением (чаще всего это  $100 \times 100$  м).

Для подтверждения методики обнаружения наличия нефтяной пленки на морской поверхности был проведен модельный натурный эксперимент, заключающийся в искусственном создании пятна путем разлива подсолнечного масла в бухте Катерлахти. Для проведения этого эксперимента было получено разрешение Комитета по экологии г. Санкт-Петербурга и Ленинградской области. Разлив масла растительного нерафинированного в количестве 25 л осуществлялся с борта катера на морскую поверхность. После разлива масла катер отошел на расстояние 80...90 м с целью привязки пятна к координатам. Производилось сканирование морской поверхности на площади  $1000 \times 1000$  м. На рис. 2 представлен фрагмент радиолокационного изображения, полученного в ходе натурального эксперимента.

Анализ радиолокационного изображения начинается с определения границ темного объекта. Анали-

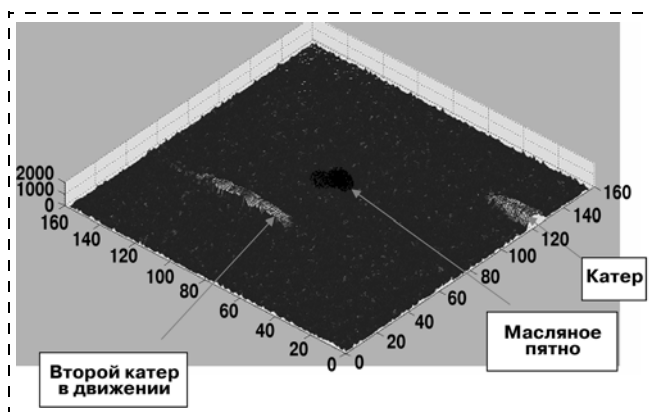
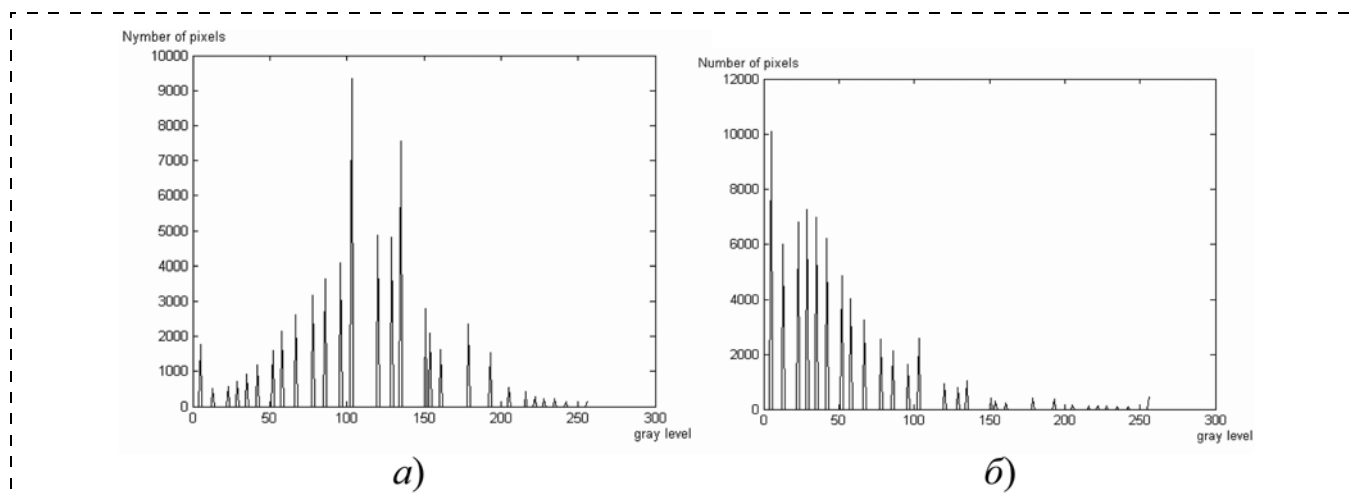


Рис. 2. Радиолокационное изображение морской поверхности при разливе масла 10.10.06 13 час 26 мин



**Рис. 3. Гистограммы:**

*a* — гистограмма нефтяного пятна; *б* — гистограмма природного сика

зируется его общая поверхность и строится гистограмма, в которой по оси абсцисс откладывается уровень интенсивности серого цвета на изображении, а на оси ординат — количество пикселей. Типичная форма такой гистограммы приведена на рис. 3.

Гистограмма изображения нефтяного пятна имеет два пика, меньший из которых сосредоточен в районе среднего значения рассеяния темного объекта, а больший — в районе среднего значения фона. Локальный минимум между пиками используется для фрагментации изображения.

Параметры, вычисляемые для темного объекта, которые затем используются для классификации, касаются геометрии объекта (протяженности и формы) и его физического поведения (интенсивности обратного рассеяния пикселей, принадлежащих объекту по отношению к фону и по отношению к области, которая окружает объект).

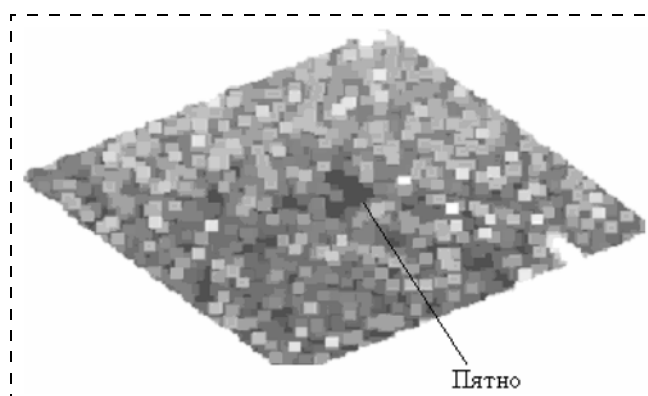
После вычисления параметров темного объекта на радиолокационном изображении морской поверхности решается задача классификации темного объекта как нефтяного пятна или ветрового сика. Для этого использован алгоритм классификации, разработанный на основе теории нейронных сетей.

В виду того, что разлив масла был ограничен небольшим количеством, то пленка получилась тонкой, а контраст пятна получился слабозаметным (на рис. 2 он искусственно усилен, чтобы форма пятна была бы все же заметна).

Затем изображение обрабатывается алгоритмом нелинейной фильтрации, написанным в пакете прикладных программ Matlab 6.05. Распространенным методом фильтрации шума без ослабления яркости исходного изображения является усреднение нескольких независимо полученных зашумленных копий одного и того же изображения. Суть данного метода вытекает из допущения о том, что исходное

изображение зашумлено аддитивным квазинормальным шумом с нулевым средним значением и дисперсией  $D$ . Поэтому в каждой точке  $(x, y)$  значение зашумленного изображения будет квазинормальной случайной величиной со средним значением  $f_{\text{BX}}(x, y)$  и той же дисперсией  $D$ .

Если имеется возможность сделать  $n$  копий исходного изображения таким образом, чтобы отсчеты шума на разных копиях были независимы, то среднее значение по  $n$  копиям в точке  $(x, y)$  будет нормальной случайной величиной со средним значением  $f_{\text{BX}}(x, y)$  и дисперсией  $D/n$ . Точно также можно снизить степень зашумленности изображения симметричного объекта (такого рода объекты искусственного происхождения довольно распространены в аэро- и фотоснимках) путем наложения соответствующих фрагментов друг на друга, например в результате поворотов, при которых объект переходит сам в себя. Полученное после фильтрации изображение представлено на рис. 4.



**Рис. 4. Обработанное радиолокационное изображение после фильтрации**

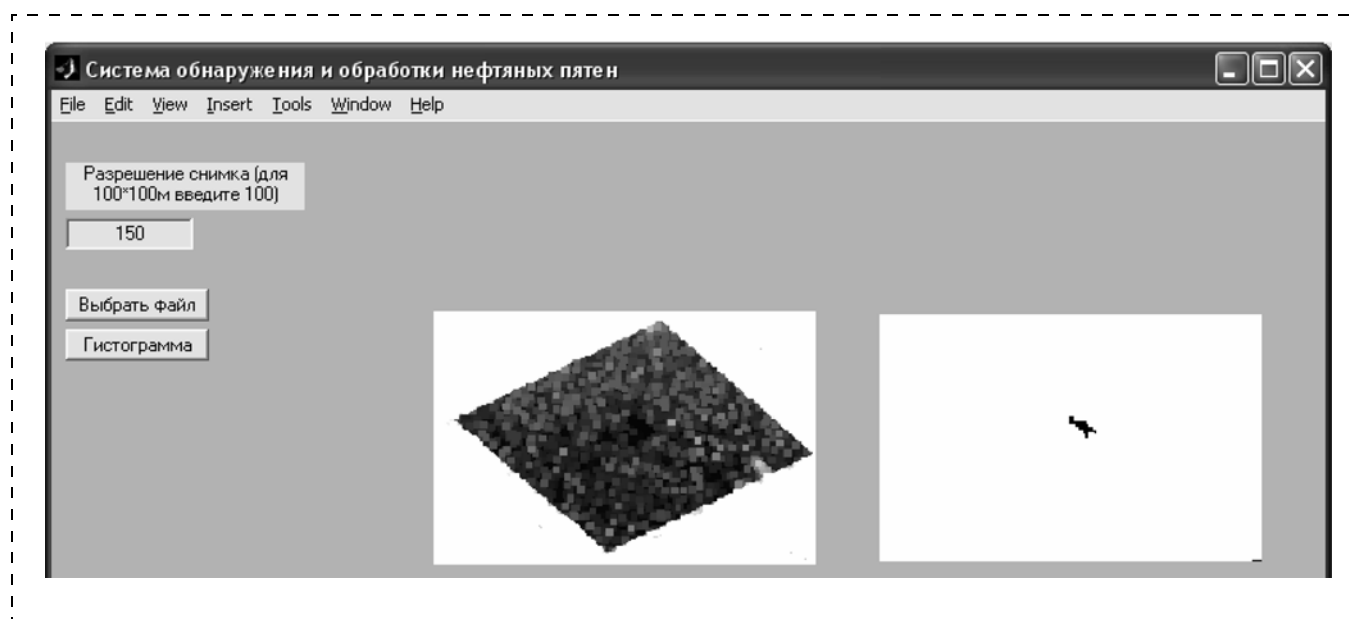


Рис. 5. Интерфейс программы автоматизированного расчета параметров пятна

Отфильтрованное изображение обрабатывается с помощью программы определения параметров пятна: местоположение пятна на радиолокационном изображении, размеры пятна. Интерфейс программы автоматизированного расчета параметров пятна показан на рис. 5.

Созданный макрос с помощью редактора dKart Navigator привязывается к заданному району на электронной карте, при этом ориентирами привязки выступают изображения берегов или другие постоянные объекты в поле наблюдения, а функция печати распечатывает бумажную карту-копию.

### Выводы

Полученные результаты позволяют сделать вывод о том, что, несмотря на плохую контрастность изображений, разработанные алгоритмы способны решить проблему выделения и идентификации нефтяных и ветровых сликов. При более толстых пленках будет наблюдаться более сильный контраст пятна и вероятность выделения и идентификации пятен существенно улучшится.

Результаты проведенных экспериментов показали, что радиолокационный метод позволяет оп-

ределять нефтяные (масляные) пленки на морской поверхности при волнении моря 1—2 балла, при углах места от 0,4 град и более, при высоте расположения антенны РЛС не менее 15 м.

Своевременное обнаружение нефтяных разливов позволит повысить экологическую безопасность за счет оперативного их обнаружения.

### Список литературы

1. **Потапов А. И., Воробьев В. Н., Карлин Л. Н., Музалевский А. А.** Мониторинг, контроль, управление качеством окружающей среды. Научное, учебно-методическое, справочное пособие. В 3-х частях. Часть 2. Экологический контроль. — СПб.: Изд. РГГМУ, 2004. — 289 с.
2. **Чернецова Е. А.** Дистанционный мониторинг нефтяных загрязнений в водной среде: Монография. — СПб.: Изд. РГГМУ, 2008. — 179 с.
3. **Чернецова Е. А.** Применение нейронных сетей при автоматизированной обработке монохромных изображений // Системы управления и информационные технологии. — 2007. — № 2 (28). — С. 96—101.
4. **Бескид П. П., Нилов М. А., Шишкин А. Д.** Радиолокационный экологический мониторинг акватории порта. Российский и европейский опыт использования модели комплексного управления прибрежной зоной на региональном и муниципальном уровнях. Материалы семинара, 26—27 сентября 2005 г. Санкт-Петербург—Приморск.



УДК 574.36

Д. А. Голубев<sup>1</sup>, канд. геогр. наук, С. В. Лукьянов<sup>2</sup>, канд. физ.-мат. наук,  
М. Б. Шилин<sup>3</sup>, канд. биол. наук, д-р геогр. наук, О. В. Волнина<sup>3</sup>, асп.,

<sup>1</sup> Комитет по природопользованию, охране окружающей среды и обеспечению экологической безопасности Правительства Санкт-Петербурга

<sup>2</sup> Морской институт РГГМУ

<sup>3</sup> Российский государственный гидрометеорологический университет,  
г. Санкт-Петербург

E-mail: serg\_lux58@mail.ru

## Оценка экологической безопасности портостроительства в Финском заливе по состоянию прибрежных биологических сообществ

*Экологическая безопасность строительства морских портовых комплексов в Лужской губе и проливе Бьеркезунд (Финский залив) оценена с использованием показателей состояния прибрежных биологических сообществ. Показано, что воздействие портостроительства варьирует от "экологически неопасного" (в проливе Бьеркезунд) до "экологически опасного" (в Лужской губе) в зависимости от продолжительности, объема извлекаемого грунта и района расположения отвала. Наиболее опасные формы воздействия — подвижки грунта, увеличение мутности и фактор беспокойства.*

**Ключевые слова:** экологическая безопасность, прибрежно-морская зона, прибрежные биологические сообщества, портостроительство, морской портовый комплекс, Финский залив, Большой Порт Санкт-Петербурга.

**Golubev D. A., Lukyanov S. V., Shilin M. B., Volnina O. V. Estimation of ecological safety of the new harbors construction in the gulf of finland on the base of the information about coastal biological communities**

*Ecological safety of the harbor construction in the Luga bay and strait of Bjerkesund (in the gulf of Finland) is estimated on the base of the information about coastal biological communities. It is shown that the environmental effect of the hydrotechnical construction and dredging changes from the "not-dangerous" in the strait of Bjerkesund to the "dangerous" in the Luga bay, what depends from the period of the impact, volume and place of final location of the dredged material. The most dangerous types of the activities for the coastal biologic communities are excavation of the bottom ground, increased volume of the suspended material in the water, and the factor of disturbing.*

**Keywords:** ecological safety, coastal zone, coastal biological communities, harbor construction, port complex, gulf of Finland, Big Port of St. Petersburg.

### 1. Развитие портостроительства в Финском заливе на современном этапе

Одно из ключевых значений в развитии морской деятельности России имеет регион Балтийского моря, традиционно играющий роль "окна в Европу". Финскому заливу Балтийского моря придается функция связующего звена в стыковке экономических пространств России и Европейского Сообщества. Согласно прогнозам, общий грузооборот портов Финского залива может достичь к 2015 г. 245 млн т. Ведущую роль в обеспечении морских международных перевозок через Финский залив играет Большой Порт Санкт-Петербурга (БП СПб) — самый крупный транспортный узел в Северной Европе, на долю которого в Балтийском бассейне приходится 8 % общего объема грузооборота. В перспективе до 2025 г. грузооборот БП СПб достигнет 71,5 млн т [1, 2].

Тем не менее, БП СПб не может удовлетворить все потребности России в морских перевозках. Дефицит портовых мощностей в регионе составляет около 100 млн т. До 20 % контейнерных грузов и более 80 % автомобильной техники доставляются в Россию через таможенные посты Финляндии и Прибалтики. Такая логистическая схема существенно увеличивает стоимость перевозок и препятствует поступлению дополнительных отчислений в российский бюджет [2].

В "Генеральной схеме развития транспортно-технологических портовых комплексов Финского залива" определены места для строительства новых и модернизации действующих морских портовых комплексов (МПК): пролив Бьеркезунд (МПК Приморск), Выборгский залив (МПК Высок), Лужская губа (Усть-Лужский МПК, МПК Вистино), бухта Батарейная (рисунок, табл. 1) [1–3]. Программой разработки генеральной схемы развития Санкт-Петербургского транспортного узла и Федеральной программой строительства транс-

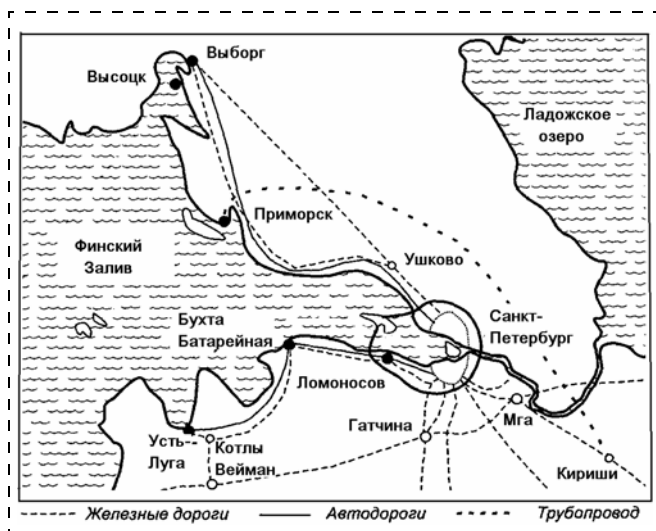


Схема расположения российских портов в Финском заливе

портно-технологических портовых комплексов предусмотрено строительство дополнительных аванпортов в районе Бронка — Ломоносов и на острове Котлин для обработки контейнерных, накатных и рефрижераторных грузов.

Расширение сети МПК в российском секторе Финского залива имеет стратегическое значение для энергетической, экономической и транспортной безопасности России. Анализ мирового опыта строительства и эксплуатации МПК показывает, что они стимулируют экономический рост прибрежно-морской зоны (ПМЗ), способствуя совершенствованию транспортной системы, увеличению многопрофильности экономики, созданию новых рабочих мест [4, 5].

Вместе с тем, строительство МПК означает неизбежное возрастание антропогенного воздействия на экосистемы ПМЗ. В связи с этим, становится актуальной оценка экологической безопасности портостроительства как вида антропогенной деятельности в ПМЗ [3, 6—9].

## 2. Подходы к оценке экологической безопасности портостроительства

В широком смысле экологическая безопасность, по представлению ряда авторов [5, 10—12], — это устойчивое состояние окружающей среды в пределах рассматриваемой экосистемы, обеспечивающее возможность улучшения качества жизни людей, защищенность от природных и техногенных катастроф, возможность стабильного прогресса общества и государства.

Экологическая безопасность транспортных, энергетических, промышленных и других антропогенных объектов предполагает такое состояние окружающей среды, при котором в природных экосистемах поддерживается состояние, близкое гомеостазу, и не создаются условия, противопоказанные человеку. Оценка экологической безопасности технического объекта подразумевает рассмотрение его взаимодействия с природной экосистемой с учетом структуры биотопов и особенностей функционирования биоценозов, попадающих в зону воздействия рассматриваемого объекта. Применяемые при этом методы оценки носят обобщающий, синтетический характер, так как должны учитывать как необходимость охраны здоровья человека, так и защиту природных экосистем.

Оборотной стороной подобных обобщений неизбежно являются "неколичественность" или "полуколичественность" и "неточность" методик. В частно-

Таблица 1

Планный грузооборот морских портов в Российском секторе Финского залива на 2010 г. (по планам 2002 г. по данным открытой печати)

Порты	Окончание строительства	Грузооборот в 2010 г., млн т	Виды грузов	Вид доставки
БП СПб	Действующий	22,0	Комплексные	Все виды
Выборг	Действующий	3,1	Комплексные	Железнодорожный
Приморск	2004—2008	до 124	Наливные: сырая нефть, нефтепродукты (в перспективе, жидкие химические грузы, газ)	Преимущественно трубопроводный и частично железнодорожный
Усть-Луга	2000—?	50,0	Сухогрузный: генеральные, навалочные, контейнеры	В основном железнодорожный
Высоцк	2000—?	до 17	Наливные: нефть (в перспективе нефтепродукты)	В основном железнодорожный
Бухта Батарейная	2004—2010	15,5	Наливные: нефтепродукты	Трубопроводный
Ломоносов	2001—?	1,9	Сухогрузные: генеральные, навалочные, контейнеры	В основном железнодорожный
Итого		233,5	50 % наливные: нефть, нефтепродукты, жидкие химические грузы и др.	Все виды

сти, применительно к ПМЗ возможности создания и практического применения точных аналитических моделей для оценки экологической безопасности и устойчивости экосистемы в условиях реализации конкретных инженерных проектов затруднены по следующим причинам:

— законодательный и этический запреты на экспериментирование с реальными прибрежными экосистемами и геосистемой ПМЗ в целом;

— необходимость многолетних натуральных наблюдений для выявления постепенных изменений в экосистемах под воздействием антропогенного фактора;

— запаздывание производимых наблюдений и анализа их результатов по отношению к скорости деградации экосистем ПМЗ.

В ходе осуществления экологического мониторинга действующих и формируемых МПК в Российском секторе Финского залива в 1998—2010 гг. оценка экологической безопасности портостроительства осуществлялась по результатам анализа состояния прибрежных биологических сообществ (ПБС) [1, 3, 6, 13]. В качестве основных компонентов ПБС анализировались фито- и зоопланктон, бентос, прибрежные макрофиты, ихтио- и орнитофауна, морские млекопитающие.

С целью сбора и анализа информации об естественном состоянии ПБС до начала формирования МПК и прогноза их возможных изменений проведена сравнительная оценка экосистем Лужской губы и пролива Бьеркезунд до начала портостроительных работ.

### 3. Воздействие портостроительства на экосистемы прибрежно-морской зоны

Исследованные экосистемы существенно различаются по комплексу лимитирующих факторов (табл. 2).

Основными факторами воздействия портостроительства на ПБС исследованных экосистем являются:

- механическое нарушение донных биотопов при изъятии и перемещении больших масс донного грунта;
- повышенная мутность воды, возникающая при дноуглублении, вбивании свай, шпунтов, а также сбросе (отвале) грунта;
- воздействие фактора беспокойства на позвоночных (рыбы, птицы, млекопитающие), например, посредством шумового, светового и иных видов загрязнения.

Первый вид воздействия — наиболее опасный, так как представляет собой непосредственное уничтожение мест обитания бентоса или нерестилищ рыб, т. е. относится к категории "разрушение биотопов". Особую экологическую опасность представляет

отвал грунта в центральной части Лужской губы в зоне размещения нерестилищ салаки.

Второй вид воздействия проявляется более сложным образом и зависит от "дозы" фактора [5], т. е. от продолжительности воздействия и его интенсивности (от размера и концентрации частиц взмучиваемого грунта). Пороговая концентрация взвеси для зоопланктона составляет 20 мг/л, для фитопланктона — 25 мг/л, для бентоса — 25 мг/л, для ихтиофауны — 30 мг/л [14].

Таблица 2

Сравнительные характеристики экосистем Лужской губы и пролива Бьеркезунд

Характеристика	Экосистема	
	Лужская губа	Пролив Бьеркезунд
Местоположение	Южный берег Финского залива	Северный берег Финского залива
Тип экосистемы	Эстуарный*	Эстуарный*
Береговая линия	Ровная	Изрезанная, со шхерами
Прибрежная зона	Нетрансформированная	Нетрансформированная
Абиотические условия	Благоприятные для ПБС	Напряженные для ПБС
Течения	Слабые циркуляционные	Сильные промывные
Замерзание	Непродолжительное	Непродолжительное
Структура вод летом	Трехслойная	Двух-, трехслойная
Грунты	Мягкие: песок и ил	Мягкие илы
Макрофиты	Тростник, камыш	Отсутствуют
Рыбохозяйственная категория	Высшая	Высшая
Ихтиофауна	26 видов рыб	22 вида рыб
Особо уязвимые виды рыб	Салака	Салака, корюшка
Бентос	"Мягкий" кормовой, пресноводно-морские пелофильные сообщества	Обедненные пресноводно-солончатые пелофильные сообщества
Ларватон	Слабо выражен	Отсутствует
Птицы	Место гнездования и отдыха на перелете	Место гнездования и отдыха на перелете
Морские млекопитающие	Кольчатая нерпа, серый тюлень	Кольчатая нерпа, серый тюлень
Особо охраняемые природные территории	Кургальский заказник	Заказник Березовые острова

\* Эстуарий — затопляемое устье реки, часто залив или фьорд, где происходит взаимодействие морских и речных вод, которое создает специфическую термохалинную структуру и циркуляцию этих вод. Поэтому в зоне фронтальных разделов, как правило, располагаются наиболее многочисленные биологические сообщества с высоким биоразнообразием.



При повышении мутности с началом портостроительных работ во всех трех экосистемах отмечены:

— снижение фотосинтетической активности фитопланктона;

— сокращение численности зоопланктона из-за подрыва кормовой базы и из-за механического воздействия взвеси на ресничный аппарат;

— сокращение численности рыб: планктофагов (салаки) — из-за сокращения кормовой базы; молоди всех рыб — из-за возможного засорения взвесью жаберного аппарата.

Оценка безопасности/опасности портостроительства на ПБС характеризовалась масштабом, длительностью и степенью воздействия (табл. 3).

Таблица 3

Оценка воздействия портостроительства на ПБС

Характеристика нарушения			Оценка безопасности/опасности
Масштаб	Длительность	Степень	
Точечное	Кратковременное	Незначительное Умеренное Значительное	Неопасное Неопасное Опасное
	Средневременное	Незначительное Умеренное Значительное	Неопасное Неопасное Опасное
	Долговременное	Незначительное Умеренное Значительное	Неопасное Неопасное Опасное
Локальное	Кратковременное	Незначительное Умеренное Значительное	Неопасное Неопасное Опасное
	Средневременное	Незначительное Умеренное Значительное	Неопасное Неопасное Опасное
	Долговременное	Незначительное Умеренное Значительное	Неопасное Опасное Опасное
Мезомасштабное	Кратковременное	Незначительное Умеренное Значительное	Неопасное Неопасное Опасное
	Средневременное	Незначительное Умеренное Значительное	Неопасное Опасное Опасное
	Долговременное	Незначительное Умеренное Значительное	Неопасное Опасное Опасное
Региональное	Кратковременное	Незначительное Умеренное Значительное	Неопасное Опасное Опасное
	Средневременное	Незначительное Умеренное Значительное	Неопасное Опасное Опасное
	Долговременное	Незначительное Умеренное Значительное	Неопасное Опасное Опасное

При этом введены следующие градации нарушений:

- по масштабу:
  - точечное (местное) нарушение (наибольший линейный размер площади нарушения — менее 1 км);
  - локальное (от 1 до 10 км);
  - мезомасштабное (от 10 до 100 км);
  - региональное (от 100 — 500 км);
- по длительности:
  - кратковременное нарушение (эффект регистрируется в течение нескольких месяцев и "гасится" по прошествии годового цикла);
  - средневременное нарушение (эффект прослеживается на протяжении 4—5 лет, в течение которых сообщества восстанавливаются);
  - долговременное нарушение (эффект регистрируется на протяжении времени большем, чем обычные сроки восстановления сообществ — до 10 лет);
- по степени воздействия:
  - незначительное нарушение (при заданной точности наблюдений статистически не регистрируется);

— умеренное (или воздействие средней силы; регистрируется статистически);

— значительное (эффект прослеживается визуально; для его обнаружения статистика не требуется).

Оценка воздействия портостроительства на ПБС в категориях пространства (масштаб), времени (длительность) и интенсивности (степень воздействия) позволяет судить о фактическом (или возможном) изменении состояния контролируемой экосистемы и принимать формализованные заключения о степени их опасности [15]. Для этого лица, принимающие решения (ЛПР), при получении от специалистов, проводящих мониторинг, данных о масштабе, длительности и интенсивности нарушений должны идентифицировать свой случай по приведенной таблице (см. табл. 3). Классифицировав нарушение как опасное, необходимо принимать меры по его ликвидации или проведению компенсационных мероприятий.

Необходимо отметить, что использование только двух градаций воздействия — "опасное" и "неопасное" — является упрощенным подходом, однако в данном случае он способствует быстрому принятию ЛПР однозначных решений, направленных на обеспечение экологической безопасности в сложной обстановке.

#### 4. Оценка экологической опасности/безопасности портостроительства в Лужской губе

В Лужской губе оценен экологический эффект от строительства Угольного терминала, включая работы по образованию территории, созданию подходного канала и акватории и строительство глубоководного причала. Территория терминала размером 600 × 700 м образована за счет освоения

Таблица 4

**Изменение состояния бентосных сообществ в Лужской губе под воздействием портостроительства**

Сообщество	Состояние	
	до работ	после работ
Обедненное открытого района	Посредственное	Посредственное
Смешанное мелководное западного берега	Отличное	Отличное
"Мягкие кормовые" центрального района	Отличное	Плохое
Хирономидные южного побережья	Отличное	Плохое
"Мягкие кормовые" восточного побережья	Посредственное	Катастрофическое
Макомовое	Отличное	Хорошее
В среднем	Хорошее	Посредственное

мелководной прибрежной зоны путем намыва песчаных грунтов, извлекаемых при дноуглубительных работах по созданию акватории и подходного канала. Акватория и подходной канал созданы углублением дна до отметок 14 м. Размеры акватории 300 × 750 м обеспечивают подход (отход) к причалу судов длиной до 220 м. В ходе работ разработано 7,9 млн м<sup>3</sup> грунтов, из них 5,9 млн м<sup>3</sup> сложено на подводном отвале площадью 895 га в центральной части губы, а 2,0 млн м<sup>3</sup> — намыто в территорию. Толщина среднего слоя грунта на отвале — 66 см, что превышает порог безопасности для бентоса. Площадь поверхности дна, поврежденной при производстве дноуглубительных работ, 39 га. Площадь поверхности дна, отчужденной при создании территории терминала, 56 га. Общая площадь шлейфа повышенной мутности с учетом изъятия и складирования грунта составила 1026,8 тыс. м<sup>2</sup>. Объем замутненных вод — 3080,4 тыс. м<sup>3</sup> (при средней глубине 3 м). В период проведения работ состояние ПБС ухудшилось: численность фито- и зоопланктона в зоне пятна мутности резко сократилась, изменилось состояние бентоса (табл. 4).

В зоне продолжавшейся работы земснаряда бентос отсутствовал. В зоне отвала бентос был представлен почти исключительно хирономидами, индифферентными к загрязнению и способными выдержать значительную антропогенную нагрузку. В результате гидротехнических работ кормовая база рыб, бентофагов и нерестилища салаки были практически уничтожены. В целом по губе состояние бентоса изменилось от "хорошего" до "посредственного". По своим масштабам нарушение в экосистеме может быть оценено как мезомасштабное, по длительности — как средневременное, по степени — значительное, что соответствует опасному воздействию (см. табл. 2). Опасность воздействия усугублена размещением зоны отвала грунта

в центральной части губы. В случае, если бы зона отвала была вынесена за пределы губы, ситуация в рассматриваемой экосистеме претерпела бы значительно менее опасные изменения.

В будущем в случае наращивания антропогенной нагрузки при строительстве других терминалов Усть-Лужского МПК, расширении дноуглубительных работ и обновлении фарватера возможно дальнейшее осложнение экологической ситуации и возрастание ее опасности.

Степень восстановления сообществ будет определяться уровнем дальнейшего антропогенного воздействия на Лужскую губу при эксплуатации ее акватории в качестве портовой. Для прогнозирования процессов, протекающих в районе активного демпинга, наиболее важным показателем будет степень загрязненности сбрасываемых грунтов. Учитывая назначения создаваемого терминала, можно ожидать загрязнения донных отложений. Следовательно, при проведении ремонтных черпаний возможно попадание естественных и антропогенных загрязнителей наносов в водную среду, их поглощение и аккумуляция тканями гидробионтов.

При прекращении антропогенной нагрузки от портостроительства донные сообщества, вероятнее всего, восстановятся за 4...5 лет, но с потерей части видов и снижением (до 60 % от исходной величины) общей биомассы. Восстановление планктонных сообществ возможно в течение одного — двух лет за счет высокой продуктивности этой группы организмов.

### 5. Оценка экологической опасности/безопасности портостроительства в проливе Бьеркезунд

В проливе Бьеркезунд оценено экологическое воздействие от строительства терминала по перегрузке сырой нефти, включая сооружение причала нефтеналивного терминала общей протяженностью 704 м, сооружение причала для судов портофлота (на глубинах до 8 м), берегоукрепление. Расположение терминала МПК Приморск выбрано таким образом, чтобы уменьшить объем дноуглубительных работ [16]. Дноуглубление было произведено лишь непосредственно в районе терминала от глубины 16,0 до 17,8 м, т. е. толщина снимаемого слоя составила не более 1,8 м. Площадь поверхности дна, поврежденного при производстве дноуглубительных работ, составила 10,9 га. Объем вынутых грунтов — 155 тыс. м<sup>3</sup>. Отвал грунта был вынесен за пределы пролива Бьеркезунд, что способствовало минимизации ущерба ихтиофауне и донным сообществам. Площадь пятна мутности составила 2200 тыс. м<sup>2</sup>, что существенно меньше, чем в Лужской губе.

Тем не менее, в период портостроительных работ в районе дноуглубления состояние ПБС ухудшилось (табл. 5). В зоопланктоне сократилась доля коловраток, для которых губительным оказалось



Таблица 5

**Изменение состояния бентосных сообществ в проливе Бьеркезунд под воздействием портостроительства**

ПБС	Состояние		
	до начала работ	во время работ	после окончания работ
1. Мотыль + олигохеты	Хорошее	Плохое	Хорошее
2. Мотыль + олигохеты + крупные изоподы	Хорошее	Хорошее	Хорошее
3. Мотыль + олигохеты + тубифициды	Хорошее	Плохое	Хорошее
4. Мотыль + крупные изоподы	Хорошее	Плохое	Хорошее
5. Мотыль	Посредственное	Удовлетворительное	Хорошее
6. Крупные изоподы	Плохое	Плохое	Посредственное
7. Двустворчатый моллюск макама	Отличное	Катастрофическое	Отличное
8. Отсутствие бентоса	Катастрофическое	Катастрофическое	Катастрофическое
В среднем	Посредственное	Плохое	Посредственное

увеличение содержания взвеси в пятне мутности. Видовое разнообразие бентоса снизилось до минимального. В местах дноуглубления и отвала грунта живые организмы отсутствовали полностью; пробы содержали неструктурированную кашеобразную массу грунта.

Как видно из табл. 5, во время осуществления работ пострадали три ПБС. Два из них находятся непосредственно в зоне проведения дноуглубительных работ. Третье — наиболее разнообразное — представлено двустворчатыми моллюсками и располагается в зоне северных "ворот" пролива на некотором удалении от места дноуглубления. Очевидно, негативное воздействие на моллюсков оказала взвесь, разносимая по проливу сильными течениями. Остальные ПБС не были затронуты антропогенным воздействием, которое в целом носило локальный характер. Однако в простых сообществах, составленных небольшим числом видов, даже незначительные изменения вызывают эффект резкого оскудения. Из-за сокращения числа видов на локальном участке дноуглубления ситуация в бентосе по результатам индексирования изменилась от "посредственной" до "плохой". При этом не произошло расширения изначально безжизненной зоны, и не пострадали ключевые виды. Это позволило рассматривать ухудшение ситуации в ПМЗ как временное явление.

Площадь разрушенных нерестилищ салаки составила 12,1 га, что существенно меньше, чем в Лужской губе. Основная составляющая часть ущерба носит временный характер, т. е. вызвана временным частичным оскудением кормовой базы, а не ее подрывом и не гибелью нерестилищ.

Нарушения в экосистеме пролива Бьеркезунд могут быть охарактеризованы как локальные по масштабу, кратковременные по продолжительности и умеренные по степени, что позволяет охарактеризовать воздействие от портостроительства как экологически неопасное.

**6. Сравнительные оценки экологической ситуации в Лужской губе и проливе Бьеркезунд**

Как следует из изложенного, характер воздействия от портостроительства на ПМЗ в исследованных экосистемах оказался существенно различным (табл. 6). При формировании Усть-Лужского МПК перемещены значительные объемы жидкого грунта, затронуты важные для поддержания устойчивости продуктивные ПБС и нерестилища салаки, что отразилось на изменении ситуации в экосистеме и на рассчитанных объемах ущерба, который вдобавок носит постоянный характер.

При формировании МПК Приморск работы носили характер точечного вмешательства. Соответственно, ситуация в экосистеме ПМЗ изменилась на короткий срок. Рыбохозяйственный ущерб оценен как незначительный и носит преимущественно временный характер.

В соответствии с результатами проведенного мониторинга, воздействие портостроительства на экосистему ПМЗ может быть оценено по-разному: от "неопасного" в МПК Приморск до "опасного" в Усть-Лужском МПК (табл. 7).

Таблица 6

**Воздействие портостроительных работ на ПМЗ Лужской губы и пролива Бьеркезунд**

Характеристика	Морской портовый комплекс	
	Усть-Лужский	Приморск
Специализация	Многоцелевой	Перегрузка нефтепродуктов
Объект строительства	Угольный терминал	Нефтеналивной терминал
Изъятие грунта	7,9 млн м <sup>3</sup>	155 тыс. м <sup>3</sup>
Отметка заглубления	До -14,0 м	С -16,0 до -17,8 м
Характеристики отвала грунта	Объем сброшенного грунта 5,9 млн м <sup>3</sup> Площадь 895 га Средняя толщина слоя сброшенного грунта 66 см	Объем сброшенного грунта 85 тыс. м <sup>3</sup>
Рыбохозяйственный ущерб временный (тыс. руб./год)	350,6 (цены 2000 г.)	877,24 (цены 2000 г.)
Рыбохозяйственный ущерб постоянный (тыс. руб./год)	2605,53 (цены 2000 г.)	74,64 (цены 2000 г.)
Воздействие на экосистему	Опасное	Неопасное

Оценка воздействия портостроительства на исследованные экосистемы

Экосистема	Масштаб нарушения	Длительность нарушения	Степень нарушения	Воздействие
Усть-Лужский МПК — угольный терминал МПК Приморск — нефтеналивной терминал	Мезомасштабное Локальное	Средневременное Кратковременное	Значительное Умеренное	Опасное Неопасное

## 7. Заключение

Таким образом, процессы, протекающие в экосистемах ПМЗ в Российском секторе Финского залива под воздействием портостроительства, имеют общий (сходный) характер, однако их масштаб, продолжительность и интенсивность различны в зависимости от свойств конкретной экосистемы и характера воздействия. Наиболее опасные формы воздействия — подвижки грунта, увеличение мутности и фактор беспокойства. Опасность воздействия меняется в зависимости от исходного состояния экосистемы, продолжительности, интенсивности и направленности антропогенного воздействия. Опасность воздействия может быть снижена на различных этапах формирования МПК путем выбора места приложения воздействия (зоны расположения отвала, зоны дноуглубительных работ, трассы фарватера и др.), определения сроков воздействия и режимов эксплуатации. Проведение сопутствующего мониторинга позволяет определить продолжительность воздействия и скорость восстановления ПБС рассматриваемой экосистемы после снятия нагрузки.

### Список литературы

1. Карлин Л. Н. (отв. исп.). Отчет по ФЦП "Исследование природы Мирового океана". — СПб., 2009. — № гос. рег. 01 2008 53997.
2. Шилин М. Б., Лукьянов С. В., Беленко С. Л. Оценка экологической безопасности морских портовых комплексов на северо-западе России по данным сопутствующего импактного мониторинга // Национальная морская политика и экологическая деятельность в Арктике / Апатиты: изд-во КНЦ РАН, 2007. — С. 120—130.
3. Lukyanov S. V., Shilin M. B., Belenko S. L., Ivanov V. V., Mandryka O. N., Pnyushkov A. V. Impact Ecological Monitoring at the Sites of the New Harbors Construction // UNESCO — IOC — HELCOM Baltic Floating University Research Bull. — 2002. — № 4—5. — P. 109—119.
4. Альхименко А. И., Беляев Н. Д., Фомин Ю. Н. Безопасность морских гидротехнических сооружений. — СПб., М., Краснодар, 2003. — 285 с.
5. Экологические основы управления природно-техническими системами / Под ред М. П. Федорова. 2-е изд., испр.

- СПб.: Государственный политехнический университет, 2008. — 505 с.
6. Шилин М. Б. Гидробиологическая характеристика пролива Бьеркезунд: результаты сопутствующего мониторинга // Природная среда побережья и акватории Финского залива (район порта "Приморск"). — СПб.: Изд. НЦ РАН, 2003. — С. 106—113.
  7. Йенсен А., Шилин М., Лукьянов С. Оценка экологического эффекта драгировочных и дноуглубительных работ в береговой зоне Балтийского моря // X международ. форум "День Балтийского моря". — СПб., 2009. — С. 173—174.
  8. Голубев Д. А., Зайцев В. М., Клеванный К. А., Леднова Ю. А., Лукьянов С. В., Рябчук Д. В., Спиридонов М. А., Шилин М. В. Комплексные экологические исследования состояния районов отвала грунта в Невской губе и восточной части Финского залива // Инженерные изыскания. — 2010. — № 5. — С. 36—42.
  9. Шилин М. Б., Голубев Д. А. Экологическая безопасность дреджинга в современном мире // Гидротехническое строительство. — 2010. — № 3. — С. 52—55.
  10. Потапов А. И., Воробьев В. Н., Карлин Л. Н., Музалевский А. А. Мониторинг, контроль, управление качеством окружающей среды / Научное, учебно-методическое, справочное пособие. Ч. 1. Мониторинг окружающей среды. — СПб.: Изд. РГГМУ, 2002. — 431 с.
  11. Потапов А. И., Воробьев В. Н., Карлин Л. Н., Музалевский А. А. Мониторинг, контроль, управление качеством окружающей среды / Научное, учебно-методическое, справочное пособие. Ч. 3. Оценка и управление качеством окружающей среды. — СПб.: Изд. РГГМУ, 2005. — 598 с.
  12. Музалевский А. А. Экология: Учеб. пос. — СПб.: Изд. РГГМУ, 2008. — 604 с.
  13. Лукьянов С. В., Шилин М. Б., Беленко С. Л., Пнюшков А. В., Степанов О. В. Экологический мониторинг состояния природной среды в районе строительства природных комплексов в проливе Бьеркезунд // Итоговая Сессия Ученого Совета РГГМУ. — СПб.: Изд. РГГМУ, 2003. — С. 34—37.
  14. Порт в Лужской губе. Угольный терминал: Рабочий проект. Т. 2. Дноуглубление и образование территории. Кн. 1. Технология производства работ и оценка воздействия на окружающую среду. — СПб., 1997.
  15. Садиков М. А., Погребов В. Б., Беляев В. Н., Кийко О. А., Шилин М. Б. Методология изучения экосистем. — СПб.: Изд. ВНИИ Океангеология, 2005. — 208 с.
  16. Балтийская Транспортная Система. Техничко-экономическое обоснование. Т. 2, кн. 8. Нефтяной терминал. Охрана окружающей среды. — СПб.: Ленморниипроект, 1999.



УДК 574.4

**В. А. Шелутко**<sup>1</sup>, д-р геогр. наук, проф., **В. В. Дмитриев**<sup>2</sup>, д-р геогр. наук, проф.,

<sup>1</sup> Российский государственный гидрометеорологический университет,

г. Санкт-Петербург

<sup>2</sup> Санкт-Петербургский государственный университет

E-mail: muzalev@rshu.ru

## Прикладная экология и геоэкология в системе высшего географического и гидрометеорологического образования

*Приведены взгляды авторов на становление и развитие прикладной экологии; ее связь с геоэкологией и социоэкологией. Приведены основные дефиниции, рассмотрены структурные единицы, предмет исследования, методические возможности и перспективы развития прикладной экологии, ее место в географическом и гидрометеорологическом высшем образовании.*

**Ключевые слова:** прикладная экология, геоэкология.

*Shelutko V. A., Dmitriev V. V. Applied ecology and geocology in system of the higher geographical and hydrometeorological formation*

*Sights of authors at formation and development of applied ecology are considered; its communication with geocology and socialecology. The basic definitions are resulted, structural units, an object of research, methodical possibilities and prospects of development of applied ecology, its place in geographical and hydrometeorological higher education are considered.*

**Keywords:** applied ecology, geocology.

Развитие наук о Земле характеризует непрерывное расширение области научного знания и поиска. Оно обуславливает появление устойчивого спроса на знания, рекомендации, практические разработки, которые обеспечивают не только достижение целей производства, но и минимизируют экономические и экологические ущербы, сохраняют приемлемые условия жизнедеятельности современного и будущих поколений людей. Обозначенные требования формируют современное мировоззрение лиц, принимающих решения в области природо- и ресурсопользования и приводят к необходимости постоянно и повсеместно реализовывать на практике рациональное природопользование, режим продуманных экологических ограничений, обеспечивающих задачи сбалансированного (устойчивого) и экологически безопасного развития территорий. В настоящее время решением задач в области природопользования занимаются специалисты, кото-

рые заняты науками о Земле, экологии, геоэкологии, социальной экологии, геоинформатики. Это связано с совпадением частных объектов исследования этих наук с объектами решения конкретных научных задач [1].

Целостное представление о закономерностях взаимодействия физико-географической среды (биоценозов и биотопов), населения, хозяйства в определенном геопространстве в последние годы формируется в междисциплинарной области исследований, называемой геоэкологией. В современных эколого-географических исследованиях актуальной является разработка и апробация новых методов анализа информации и получения оценок, интегрально отражающих происходящие изменения в социо-, урба-, этно-, гео- и экосистемах.

Вызов времени связан с умением оценивать и прогнозировать развитие эко-, гео-, урба-, этно-, социосистем. Сложность их оценивания возрастает в указанном ряду слева направо. Прогнозирование состояний социосистем в целях устойчивого развития невозможно без разработки моделей их функционирования. Попытки уйти от создания моделей устойчивого развития и заменить их развитием индексологии устойчивого развития или моделями рисков при описании природных и общественных трансформаций сопряжены с неизбежными потерями и просчетами.

Анализ методов оценки состояния систем и их свойств показывает, что в прикладной экологии в целом и в геоэкологии для этого чаще всего применяется покомпонентное (прямое и косвенное) и комплексное оценивание. Разрабатываются также многокритериальное и интегральное оценивание состояния сложных систем в природе и обществе. Первые три подхода являются преобладающими, но их применение, как правило, не решает проблему сравнимости полученных оценок и не учитывает эмерджентности систем [4].

В программе развития российской науки до 2010 г. и далее, разработанной Министерством промышленности, науки и технологий Российской Федерации в качестве одного из девяти приоритетных направлений, выделяется направление "Экология и природопользование". При разработке любой "стратегиче-



ской концепции" необходимо помнить, что в ее основе должны лежать *научно обоснованные прогнозы* развития системы (государства, региона, предприятия, вуза и т. д.). Планирование стратегии не есть создание перечня призывов (деклараций, приоритетов, регламентов). Создание стратегической концепции также не сводится к инвентаризации проблем и возможных путей их решения, это поисковый прогноз. Университетам России нужны научно обоснованные *социально-экономические прогнозы* развития государства, в основе которых лежат сценарии (различные) развития регионов, вузов и государственной политики в области образования. Компоненты (критерии), которые должны быть заложены в прогнозные модели, сегодня названы. В их число входят: зарплата, стипендия, пенсия, параметры материально-технической базы и т. п. Выбор сценариев и глубины прогнозирования зависит от развития страны, региона, планирования государственной политики в области образования, размеров межвузовского и международного сотрудничества, демографических и других факторов. Получение таких прогнозов потребует времени и финансирования. В результате будем иметь количественные показатели — ориентиры, которые позволят оптимизировать развитие вузов и снизить вероятность выбора ошибочной стратегии и траектории развития.

При этом в средствах массовой информации неоднократно отмечалось, что почти все приоритетные направления относятся к так называемой "прикладной" науке, фундаментальные же исследования объявлены приоритетом государства в целом. Комментируя подобные высказывания, президент РАН Ю. С. Осипов еще 24 марта 2002 г. в телепередаче "Времена" повторил известное выражение Л. Пастера о том, что "есть наука и ее приложения". Деление науки на "фундаментальную" и "прикладную" Ю. С. Осипов назвал жаргоном, принятым в обществе. Добавим к этому, что такой жаргон допустим, если признается, что в любом из девяти направлений существует фундаментальная основа, результаты исследований, направленные на решение практических проблем, и инновация.

Результаты исследований, направленные на решение практических проблем, можно называть прикладными. Речь сегодня идет об адаптации классического фундаментального университетского образования в прикладное. Понятие инновация (нововведение) пришло на смену понятиям научно-технический прогресс, научно-технический проект. Инновация — это первое применение совершенно нового продукта, технологии, услуги. Нет применения — нет инновации, нет потребителя — нет инновации. Тематические планы, проекты и предложения, заявляемые сегодня в грантах, должны предусматривать коммерческое освоение новых разработок. Таким образом, они становятся инновационными, а значит современ-

ными. Акцент сегодняшнего дня — создание условий для инновационной деятельности, создание инновационной системы, инновационных центров, фондов, парков и т. п. Именно для этого стали так необходимы в последние годы менеджеры, внедренцы во всех областях науки и техники.

Создание в 2000 г. в Российском государственном гидрометеорологическом университете на факультете экологии и физики природной среды кафедры прикладной экологии замечательным образом предвосхитило ситуацию сегодняшнего дня. Останемся на обсуждении предмета, цели, специфических методов и перспектив развития структурной вузовской единицы с учетом высказанных выше замечаний.

Прикладная экология связана с различными подразделениями экологии: биоэкологией и учением о биосфере, геоэкологией, экологией человека, урбоэкологией и социальной экологией. Попытаемся выделить спектр прикладных направлений экологии на основе связи гидрометеорологических и экологических структурных единиц разных уровней иерархии (см. таблицу).

Что является предметом исследования *прикладной экологии*? Следуя Н. Ф. Реймерсу (1990, с. 595) [8], *прикладная экология* должна заниматься разработкой норм использования природных ресурсов и среды жизни, допустимых нагрузок на них, форм управления экосистемами различного иерархического уровня, способов "экологизации" хозяйства. Сегодня можно свести круг очерченных Н. Ф. Реймерсом вопросов к *экологической регламентации, экологическому нормированию и экологическому менеджменту*.

В более общей трактовке *прикладная экология* по Н. Ф. Реймерсу [8] изучает механизмы разрушения биосферы человеком, способы предотвращения этого процесса и разрабатывает принципы рационального использования природных ресурсов без деградации среды жизни. В состав *прикладной экологии* Н. Ф. Реймерс (1990, с. 593) [8] включал промышленную (инженерную) экологию, сельскохозяйственную экологию, различные области медицинской экологии и др.

В другом определении по Дедю [2] *прикладная экология* — раздел экологии, результаты исследования которого направлены на решение практических проблем охраны окружающей среды: защита от загрязнения, научное управление окружающей средой, рациональным использованием естественных ресурсов, круговоротом воды и воздуха в природе, продуктивностью сообществ, стабильностью и возможной нагрузкой экосистем и т. д.

Таким образом, и по Н. Ф. Реймерсу, и по И. И. Дедю *прикладная экология* разрабатывает экологические нормы, формы управления экосистемами, определяет допустимые нагрузки на них и пределы устойчивости экосистем. Кроме этого, она изучает механизмы разрушения экосистем и разра-



батывает подходы к рациональному природопользованию.

Отметим, что указанное авторами в прошлом веке "наполнение" прикладной экологии не смогло предвосхитить бурного развития именно этой составляющей экологии. Оно лишь "угадывало" сформировавшиеся в последние годы прикладные научные направления в экологии и родственных ей дисциплин.

В самом деле, определение *нормы состояния* экосистемы на основе анализа параметров состояния, интервалов их естественного колебания, выявления пороговых и критических величин параметров, входит сегодня в сферу *экологической регла-*

*ментации*. Поиском ответной реакции экосистем на внешнее воздействие и разработкой экологических норм и допустимых нагрузок на экосистемы занимается *экологическое нормирование*, механизмы разрушения экосистем и подходы к рациональному природопользованию изучает *охрана природы*. Экспертизой и анализом деятельности хозяйствующих субъектов в соответствии с требованиями экологической безопасности и действующим экологическим законодательством занимается *экологический аудит*; планирование, управление и контроль всей деятельности предприятий в отношении охраны окружающей среды охватывает

#### Определение структурных единиц экологии, геоэкологии, социозкологии

Структурная единица	Определение	Науки
<b>Экосистема</b> (Биоценоз + биотопы — атмотопы, гидротопы, педотопы)	Существует большое количество основополагающих определений, обобщенных, например в работах [7, 9]. Фундаментальная структурная единица биосферы, объединяющая в себе живые организмы и их среду обитания в единое функциональное целое. Обладает определенной стабильностью, видовым разнообразием, трофической структурой и внутренним круговоротом веществ [2]	Биология Экология Биоэкология и др.
<b>Водная экосистема</b> (Водный биоценоз + вод- ный биотоп)	Фундаментальная структурная единица биосферы, объединяющая в себе живые организмы, живущие в воде, и их среду обитания в единое функциональное целое. Обладает определенной стабильностью, видовым разнообразием, трофической структурой и внутренним круговоротом веществ	Биология Гидробиология Экология Биоэкология Водная экология Гидроэкология и др.
<b>Гео(эко)система</b> (Биоценоз + физико-гео- графическая среда (биото- пы) + население)	Фундаментальная структурная единица географического ландшафта, объединяющая в себе геоморфологические, климатические, гидрологические природные геокомпоненты и живые организмы на определенном участке поверхности Земли [5]. Геоэкология изучает функционирование антропогенно трансформированных геосистем преимущественно высоких уровней иерархии	Экология Геоэкология Географическая экология Экогеография Экологическая география Ландшафтная экология Глобальная экология и др.
<b>Водная гео(эко)система</b> (Водный биоценоз(ы) + + физико-географическая водная среда (гидротопы) + + население)	Фундаментальная структурная единица географического ландшафта, объединяющая в себе геоморфологические, климатические, гидрологические природные геокомпоненты и живые организмы на определенном участке водной поверхности Земли. Выделяются <i>транзитный, каскадный</i> и <i>циклический</i> типы водных геосистем. В состав водной геосистемы входят водные экосистемы, абиотическая среда которых характеризуется определенным сочетанием элементов гидрологического режима и химического состава вод, особой морфометрией (батиметрией) и климатическими параметрами. В состав водной геосистемы, кроме того, входят граничные экотопы: <i>приводный, придонный, прибрежный, пойменный</i> , отличающиеся специфичным составом биоты и абиотической среды. Особое место в водной геосистеме может занимать человек (население) как пользователь ее водных и биологических ресурсов. В то же время человек не является компонентом водной экосистемы, поскольку вода не является для него средой жизни. Актуальной темой геоэкологических исследований водных объектов являются оптимизационные задачи развития общества и благополучного устойчивого функционирования водных геосистем [5]	Геоэкология Географическая экология Экогеография Экологическая география Ландшафтная экология Глобальная экология Водная экология Гидроэкология и др.
<b>Социо(эко)система</b> (Биоценоз(ы) + физико- географическая среда + на- селение + экономика + культура + политика)	Динамическая саморазвивающаяся и саморегулирующаяся система "человеческое общество—природа" или "человеческое общество—окружающая среда", динамическое равновесие в которой должно обеспечиваться общественным разумом. Различия в региональных социозкологиях связаны с особенностями регионального развития экономики и культуры. Существенное отличие глобальной социозкологии от региональной связано со становлением на региональном уровне человеческих культур, пока еще не сложившихся в единую мировую материальную и духовную культуру [2]	Экология Социальная экология Природопользование Экономика природополь- зования и др.
<b>Этносистема, этно(эко)система</b> (Биоце- ноз (ы) + физико-геогра- фическая среда + населе- ние этноса + экономика + культура + политика)	Соотношение социо- и этносистем: <i>этносистема этно(эко)система</i> = биоценоз(ы) + физико-географическая среда + этнос + экономика + культура + политика; или <i>этносистема, этно(эко) система</i> = <i>геосистема, геоэкосистема</i> + экономика + культура + политика этноса. Таким образом, понятия <i>этносистема, этно(эко)система</i> парциальны по отношению к понятиям <i>социосистема, социо(эко)система</i> . Это их подсистемы. В глобальном смысле это неверно. В региональном отношении они в принципе могут совпадать, если региональная социосистема является системой одного этноса	

*экологический менеджмент. Очень быстро развиваются экономические аспекты природопользования, инженерная экология, медицинская экология, а также такие прикладные направления как экологический риск, экологический маркетинг, экологический консалтинг, экологическая паспортизация, экологическое страхование, экологическое лицензирование, экологическая сертификация, экологическая этика, экологическая политология и социология и др. [9].*

В связи с отмеченным выше конкретным наполнением прикладной экологии, она в последние годы редко упоминалась в научной литературе, несмотря на то, что различные разделы и "продукты" прикладной экологии широко представлены в научных публикациях в качестве иллюстраций практического решения экологических проблем и проблем охраны окружающей среды. В большинстве географо-экологических (эколо-географических) публикаций речь по существу идет о *прикладном системном анализе* в экологии, геоэкологии, урбоэкологии, социэкологии. Теория *прикладного системного анализа* должна быть нацелена на теоретическое описание деятельности специалистов по системному анализу в решении практических задач данных областей знаний, и, в значительно меньшей степени — объектов данной деятельности (в нашем случае — экосистем, геосистем, урбосистем, социосистем).

Можно сделать вывод, что *прикладная экология* призвана на современном этапе ее развития разрабатывать научные методы решения экологических проблем, связанных с антропогенной трансформацией природных экосистем и геосистем, разных иерархических уровней, а также урба(эко)систем и социо(эко)систем. Понятно, что многие геоэкологи видят в этом цели и задачи геоэкологических исследований.

То же можно сказать и о географо-экологических (эколо-географических) исследованиях. Уже сегодня выделяется *ландшафтная геоэкология*, исследующая проблемы взаимодействия человека с окружающей средой на местном уровне (в тонкой ландшафтно-геоэкологической оболочке, включающей в себя всю биоту, почву, литогенную основу, приземные водные и воздушные массы и антропогенную составляющую) и планетарная или *глобальная геоэкология*, изучающая планетарное геоэкологическое пространство в лито-, атмо-, гидросферах, в которых человек транспортируется и проводит специфические работы: космические, глубоководные, глубокое бурение и др. При этом в геоэкологических исследованиях изучаются экологически значимые для рассматриваемой иерархии геокомпоненты, процессы и явления. Это и обуславливает выделение предмета и специфических методов исследования, позволяющих рассматривать и анализировать структуру геопространства, динамику по-

ведения экологически значимых геокомпонентов и прогнозировать функционирование и развитие геосистем. Таким образом, геоэкология может рассматриваться как экологическая наука с интегративным объектом (предметом) исследования — ландшафтно-геоэкологической оболочкой. Учебный план подготовки специалистов-геоэкологов должен включать в себя наряду с общеобразовательными предметами систему физико-географических, экономико- и социально-географических дисциплин, изучающих процессы (зачастую необратимые) и явления в географической оболочке Земли и социальной сфере, возникающие в результате интенсивного антропогенного воздействия, а также риски, близкие и отдаленные последствия таких воздействий и ущербы от них [5]. К сожалению, деление ВАКом геоэкологии на "геологическую" и "географическую" составляющие порождает искусственное противостояние географов, геологов, биологов и других специалистов, которые должны обеспечивать триединство экологического образования в ВУЗах (био-, гео-, социэкология).

Отличие *геоэкологии от социальной экологии* обусловлено присутствием в последней специфического предмета исследования — социальной сферы, испытывающей на себе последствия антропогенных трансформаций социосистем. Так называемые *геоэкологический и социэкологический подходы*, на основе которых реализуются географо-экологические исследования последних лет, исходят из наиболее общего понимания *геоэкологии и социэкологии* как междисциплинарных направлений, всесторонне рассматривающих динамику антропогенно трансформированных геосистем и социосистем, а также взаимодействия человека (общества) и окружающей среды в локальном, региональном и глобальном масштабах. При этом чаще упоминаются высокие уровни иерархии геосистем и социосистем. В этом случае прикладная экология нацелена на решение прикладных задач геоэкологии, урбоэкологии и социэкологии.

В связи с этим, *системная экология, системная геоэкология, системная социэкология* выделились из экологии, геоэкологии, социэкологии и как формализованные (в большей или меньшей степени) целостные подходы стали самостоятельными разделами *системного моделирования* или *системологии* благодаря современным математическим методам, развитию информатики и геоинформатики и т. д., а также формального упрощения и моделирования систем.

Прикладная составляющая обуславливает необходимость решения практических задач по использованию природных ресурсов и социальной сферы, их охраны, возобновления, терапии для реализации как потребностей человечества, так и устойчивой коэволюции биосферы и общества.



Для этого необходимы понимание, воля, желание и возможности разных человеческих культур, пока еще не сложившихся в единую мировую материальную и духовную культуру.

Отметим, что во всех случаях речь идет об исследовании состояния природной и социальной (антропогенно-трансформированной) среды, обусловленного качественным отличием их от состояния, определяемого лишь естественными процессами. Переход от естественных к катастрофическим природным состояниям (или состояниям коллапса) характеризуется чаще всего необратимой утратой системой способности продуцировать органическое вещество или потерю ею таких свойств, которые отличают экосистемы от других комбинаций "жизнь—среда". В качестве характерных критериев применяются *режимные, природо-защитные, антропоэкологические и хозяйственные* критерии. *Экологическим критерием* будем называть признак, на основании которого проводится оценка, определение или классификация экологических систем, процессов и явлений. Для оценки экологического состояния и качества городских территорий две последние группы критериев имеют решающее значение. В состав антропоэкологических индикаторов (критериев) состояния урбасистем входят медико-экологические, биоклиматические, социальные и другие критерии.

Разработка научных методов решения экологических проблем сегодня опирается на достижения общей экологии, развития формальных математических методов, кибернетики, обработки данных на ПК, информатики и возможностей *экологического (и геоэкологического) мониторинга* природных и урбанизированных территорий (акваторий) разной степени антропогенной трансформации и должна включать в себя системы наблюдений, оценки и прогноза состояния природных и антропогенно-трансформированных экосистем (геосистем, урбасистем, социоэкосистем). При этом степень их нарушенности человеком может достигать значительных размеров [7, 9].

Под одной из форм экологического мониторинга, позволяющей по выбранным показателям выявить основные тенденции в изменении биосферы, понимается *диагностический мониторинг*.

Есть форма экологического мониторинга, позволяющая с помощью планируемого эксперимента предсказать (прогнозировать) биологические последствия на основании тенденций в изменении абиотической среды. Это *прогностический мониторинг*, который опирается на научные методы решения экологических проблем и реализуется через систему экологических моделей разной степени сложности и разной степени отражения в них геопространства в зависимости от цели исследования. Разработка и размещение систем слежения —

первый этап экологического мониторинга. Информация, поступающая от систем слежения, накапливается в базах данных (БД) и по требованию пользователя передается *системам оценки*.

*Система оценки* — составная часть (второй этап) экологического мониторинга, предназначенная для получения качественной и количественной оценки состояния, неаддитивных свойств и степени антропогенной трансформации экосистем.

Сбор и обработка данных, концептуальные и формализованные модели анализа, прогноза и оценки состояния экосистем, геосистем, социосистем с выходом на принятие природоохранного решения составляют потенциальный набор функций географической информационной системы (ГИС) состояния и качества среды. В настоящее время такие системы (зарубежные и отечественные) активно разрабатываются.

Установление значимости многопараметрических природных объектов и их свойств и получение количественных значений оцененных параметров сопряжено с использованием таких понятий, как *показатель, признак, критерий, совокупность, комплекс, система*, и производных от них, например, *комплексная оценка, многокритериальная оценка* и др. [5].

*Состояние экологической системы* — характеристика экосистемы на определенный момент ее функционирования. Состояние природной и урбанизированной системы всегда можно описать *вектором* или *кортежем*, если учитываются также величины, не имеющие численных значений состояния системы. Такой вектор назовем *"портретом"* природной или урбанизированной экосистемы. Под *оценкой воздействия* понимается количественная (интегральная) оценка ответной реакции экосистемы в целом на антропогенное воздействие на основе получения *антропогенно трансформированного портрета экосистемы* [5].

Географическая (гидрометеорологическая) составляющая таких исследований чаще всего связана с получением *комплексной оценки* или оценок с антропоцентристских позиций. Основным содержанием такой оценки является покомпонентное или комплексное физико-географическое районирование земной поверхности или свойств геосистем различного уровня иерархии, зонирование территорий и акваторий по величине *интегральных показателей* состояния среды и биоты, выявление условий (уровней, значимости) рационального использования, охраны и улучшения природной среды.

Экологическая (эколого-географическая) составляющая исследований связана с оценками *эколого-географической ситуации*, под которой понимаются различные (противоречивые) состояния природной и антропогенно трансформированной среды (противоречие связано с невозможностью увязать воздействие хозяйственной деятельности

на биоресурсы и экологические потребности общества), важные для здоровья, условий жизни и деятельности человека или сохранения видовой разнообразия биосферы.

Географическая и экологическая оценки характеризуют отношение *субъекта* (эксперта, исследователя) к *объекту* оценивания (в нашем случае — среда жизни человека, окружающая человека природная среда, геосистема, экосистема, урбаэкосистема, социоэкосистема и т. п.), установление значимости для субъекта этого объекта в целом или отдельных его свойств на основе их соответствия определенным уровням или нормам. Оцениваемым свойством объекта чаще всего является качество среды, устойчивость, продуктивность, экологическое благополучие территории, экологическая напряженность и т. д. При этом, исходные характеристики, определяющие уровень оцениваемого свойства, могут быть весьма многочисленны (число их зачастую доходит до многих десятков наименований) и образовывать весьма сложные системы, структурированные множеством функциональных и корреляционных взаимосвязей.

Оценки подразделяются на *единичные (прямые и косвенные), комплексные, многокритериальные, интегральные* [5]. Под *экологической оценкой* понимается параметрическое определение состояний среды, обеспечивающих существование сообществ живых организмов, характерных для этих состояний в условиях естественного или антропогенного режимов их развития. Условия функционирования систем характеризуются *"нормой состояния"* на основе системы критериев, позволяющих выделить границы их различных состояний, и *"нормой воздействия"* — отклонением условий среды от нормы, не вызывающим развития необратимых изменений и не выводящим системы за пределы их норм. Оценка состояния природной или антропогенно-трансформированной системы с этих позиций есть соотнесение ее свойств с нормой (нормами) по величинам *интегральных показателей* состояния.

Формой и начальным этапом выражения отношения субъекта к объекту оценивания служит *диагностический анализ (диагностика)* природного объекта разной степени антропогенной трансформации, который включает в себя рекогносцировочное выявление достоинств (положительная значимость) и недостатков (отрицательная значимость) объекта; его отдельных свойств, интервалов их естественного колебания, структуры и режимов

функционирования на основе анализа параметров состояния и их критических значений.

*Диагностический анализ (диагностика) природного объекта* (его свойств) чаще всего сводится к установлению отличительных особенностей и элементов его режимов, продуктивности, способности сохранять свои свойства и функционировать в условиях антропогенных воздействий и изменения качества среды в целом, применительно к запросам человека или других организмов.

Значительное место в прикладных экологических исследованиях отводится экологической регламентации и экологическому нормированию. *Экологическая регламентация* есть определение *нормы состояния* экосистемы на основе анализа параметров состояния, интервалов их естественного колебания, выявления пороговых и критических величин параметров, при которых сохраняется *портрет* экосистемы. *Экологическое нормирование* основано не на оценке природопользователями качества наземных и водных природных объектов, а на оценке внутренних свойств и возможностей экосистем сохранять свое состояние или утрачивать его при внешнем воздействии на них. При *оценке воздействия* определяются *экологические нормативы* допустимой антропогенной нагрузки на биогеоценозы на основе *экологических регламентов* [5].

#### Список литературы

1. Гальцова В. В., Дмитриев В. В. Практикум по водной экологии и мониторингу состояния водных экосистем (учебное пособие). — СПб.: Наука, 2007. — 364 с.
2. Дедю И. И. Экологический энциклопедический словарь. — Кишинев, 1990. — 406 с.
3. Дмитриев В. В. Диагностика и прогноз состояния водных экосистем / Проблемы эколого-географической оценки состояния природной среды. — СПб., 1995. — С. 72—91.
4. Дмитриев В. В. Интегральная оценка экологического состояния и качества природной и антропогенно-трансформированной среды // Успехи современного естествознания. — 2007. — № 8. — С. 75—76.
5. Дмитриев В. В. Эколого-географическая оценка состояния внутренних водоемов. Автореф. докт. дисс. — СПб., 2000. — 52 с.
6. Дмитриев В. В., Жиров А. И., Ласточкин А. Н. Прикладная экология: Учеб. для студ. высш. учебн. зав. — М.: ИЦ "Академия", 2008. — 608 с.
7. Потапов А. И., Воробьев В. Н., Карлин Л. Н., Музалевский А. А. Мониторинг, контроль и управление качеством окружающей среды. Часть 3. Оценка и управление качеством окружающей среды. — СПб.: Изд. РГГМУ, 2005. — 600 с.
8. Реймерс Н. Ф. Природопользование / Словарь-справочник — М., 1990. — 638 с.
9. Музалевский А. А. Экология: Учеб. пос. СПб.: Изд. РГГМУ, 2008. — 604 с.



УДК 51.510

Г. Т. Фрумин, д-р хим. наук, Российский государственный гидрометеорологический университет, г. Санкт-Петербург  
E-mail: gfrumin@mail.ru

## Оценка риска для здоровья населения Санкт-Петербурга при ингаляционном воздействии взвешенных веществ и бенз(а)пирена

*Приведена динамика индивидуальных и популяционных рисков для населения Санкт-Петербурга (в целом по городу) при ингаляционном воздействии взвешенных веществ и бенз(а)пирена за период с 1990 по 2009 г. Установлено, что в течение всего рассмотренного периода величины индивидуальных рисков при воздействии взвешенных веществ превышали приемлемое значение. В то же время величины индивидуальных канцерогенных рисков для здоровья населения Санкт-Петербурга весьма малы и ниже приемлемого риска.*

**Ключевые слова:** риск ингаляционный, взвешенные вещества, бенз(а)пирен, Санкт-Петербург.

**Frumin G. T.** Estimation of risk for health of the population of Saint Petersburg at inhalation influence of the weighed substances and benzo[a]pyrene

*The article presents the results of calculations of individual and population health risks for 1990 — 2009 for population living in Saint Petersburg by inhalation of total suspended particulates and benz[a]pyrene. The calculated values are compared to levels of acceptable risks.*

**Keywords:** risk assessment, inhalation, suspended matter, benz[a]pyrene, Saint Petersburg.

Более сорока лет назад создатель гелиобиологической науки А. Л. Чижевский написал следующее: "Мы уделяем больше внимания тому, что мы едим и пьем, однако мы поразительно мало внимания уделяем воздуху, которым дышим" [15]. Эти слова не потеряли своего значения и в настоящее время. Знания о качестве воздуха как основной потребности человека сейчас находятся на одном из последних мест информационных приоритетов. Редко кто знаком с информацией о состоянии проблемы загрязненности атмосферы в городах, поскольку почти отсутствует литература, освещающая правильно и детально состояние качества воздуха в городах России. Подобные сведения редко публикуются для общественности и населения [1].

Россия занимает 3-е место в мире по вредным выбросам (после США и Китая) и 74-е место среди стран мира по экологической чистоте. Часть (40 %) территории России (центр, юг европейской

части, Средний и Южный Урал, Западная Сибирь, Поволжье), где проживает более 60 % населения страны, на треть являют собой картину экологического бедствия. Более 100 млн россиян проживают в экологически неблагоприятных условиях; только 15 % городских жителей России живут на территориях, где уровень загрязнения воздуха соответствует нормативам; 40 % городских жителей живут в условиях периодического превышения в атмосфере предельно допустимых концентраций вредных веществ в 5—10 раз [4].

По существующим оценкам, около 1,2 млн человек в городах России живут в условиях резко выраженного дискомфорта. По данным Росгидромета мониторингом качества атмосферного воздуха охвачено 284 города России. Данные мониторинга показывают, что 66 млн человек живут в городах с загрязнением воздуха, превышающим действующие нормы. Из них 40 млн человек живут в условиях значительного загрязнения воздуха. По данным территориальных центров Госсанэпиднадзора 9 % проб атмосферного воздуха не соответствуют гигиеническим нормативам, в том числе 13,5 % по взвешенным веществам, 10 % по оксиду углерода, 13 % по оксидам азота и 19 % по бенз(а)пирену.

Стержнем концепции экологической безопасности в мире признана теория экологического риска [3, 5, 6, 9, 10, 12]. Экологическую опасность можно уменьшить, но нельзя устранить полностью. Даже если исключить выбросы от промышленных предприятий, то останутся выбросы отопительных систем и нагревательных приборов для приготовления пищи, от электростанций и автотранспорта, от пыльных дорог и других источников загрязнения. Останутся и вредные привычки людей. Даже проживание рядом с курильщиком несет угрозу вызвать рак или болезни сердца у окружающих из-за вынужденного вдыхания бензола, ацетальдегида, бенз(а)пирена и других вредных веществ.

Загрязнение атмосферного воздуха сопровождается ухудшением состояния здоровья населения. Статистически значимая заболеваемость населения от загрязнения воздуха установлена для заболеваний бронхитами, эмфиземой легких, пневмонией, ОРЗ и рядом других. Выборочное обследование 33 городов России с высоким загрязнением

воздуха по сравнению с городами с меньшим загрязнением воздушного бассейна, показало, что в них средние уровни заболеваемости выше, при этом болезней органов дыхания на 41 %, сердечно-сосудистой системы на 132 %, кожи на 176 %, злокачественных новообразований на 35 % [16].

В связи с изложенным возникает задача определения риска для человека и окружающей среды при воздействии вредных веществ, включая уровень приемлемого риска. Для человека экологический риск определяется потенциально возможным нарушением тенденций развития природно-антропогенных и чисто антропогенных систем, при котором изменения состояний будут неблагоприятны для деятельности и существования людей и могут повлечь бедствия. Если *природно-экологический* риск представляется естественным состоянием эволюционирующих геосистем, то *антропогенно-экологический* риск есть порождение самого человека, чаще всего — вследствие непреднамеренных действий. Обе составляющие экологического риска важны для человечества, особенно, когда по проявлениям и последствиям они совпадают или провоцируют друг друга [17, 18].

В отдельных городах и промышленных зонах, в которых среда обитания существенно загрязнена токсичными веществами, среди населения может быть выявлена экологически обусловленная патология, в том числе экологически обусловленные болезни, патологические состояния.

Реальный риск должен представлять собой величину, характеризующую реальное число дополнительных случаев заболеваний, вызванных загрязнением окружающей среды. В этом случае целесообразно использовать следующее соотношение [7]:

$$\text{Заболеваемость} = a + b \cdot \text{Risk}, \quad (1)$$

где *Risk* — потенциальный риск; *a* — фоновый уровень заболеваемости, то есть тот, который не зависит от загрязнения окружающей среды; *b* — коэффициент пропорции роста заболеваемости в зависимости от уровня потенциального риска.

Имеются сведения, что наличие в атмосферном воздухе вредных веществ увеличивает заболеваемость населения на 30...40 % [11].

Оценка риска для здоровья является естественной поведенческой реакцией человека и сопровождается его в течение всей жизни. По сути, оценка риска для здоровья — это вид экспертных работ, направленных на определение числа людей, способных проявить негативные реакции на воздействие конкретного неблагоприятного фактора за заданный промежуток времени.

Одной из сложных проблем оценки воздействия факторов окружающей среды является присутствие в ней большого числа разнообразных по структуре химических соединений. Так, на человека, проживающего в промышленном районе, потен-

циально может воздействовать до нескольких сотен тысяч химических веществ. Реально же, например, в Санкт-Петербурге в относительно высоких концентрациях присутствует довольно ограниченное количество вредных веществ. Провести полную характеристику рисков для всех химических соединений из-за огромного объема необходимых аналитических исследований невозможно. Поэтому необходимо сфокусировать внимание на том количестве загрязняющих веществ, которые в наибольшей степени определяют существующие риски.

Перечень веществ, загрязняющих атмосферный воздух Санкт-Петербурга, весьма обширен: оксиды азота, взвешенные вещества, бенз(а)пирен, диоксид серы, бензол и др. Для анализа рисков здоровью были выбраны бенз(а)пирен и взвешенные вещества, регулярно определяемые Северо-Западным управлением по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды при мониторинге загрязненности атмосферного воздуха Санкт-Петербурга.

Практика определения потенциальных эффектов неблагоприятного воздействия, связанных с загрязнением атмосферного воздуха, предполагает расчет риска следующих типов:

- риска немедленных эффектов, проявляющегося непосредственно в момент воздействия (неприятные запахи, раздражающие эффекты, различные физиологические реакции, обострение хронических заболеваний и пр., а при значительных концентрациях — острые отравления);
- риска длительного (хронического) воздействия, проявляющегося при накоплении достаточной для этого дозы в росте неспецифической патологии, снижении иммунного статуса и т. д.;
- риска специфического действия, проявляющегося в возникновении специфических заболеваний или канцерогенных, иммунных, эмбриотоксических и других подобных эффектов.

Риск является прогностической оценкой вероятности неблагоприятного исхода развивающейся (еще не закончившейся) ситуации. Под приемлемым уровнем риска понимают риск, уровень которого допустим и обоснован, исходя из экономических и социальных факторов [14] (табл. 1).

Расчет рисков здоровью жителей Санкт-Петербурга был проведен для ингаляционного пути поступления указанных веществ в организм человека. Обоснование такого выбора заключается в том, что дыхание является непрерывным процессом, и человек за сутки вдыхает около 20 тыс. л воздуха. При таком объеме дыхания даже минимальные концентрации загрязняющих веществ в атмосферном воздухе могут приводить к значительному их поступлению в организм. Действительно, каждые сутки мы вдыхаем около 15 кг воздуха и примерно одну столовую ложку пыли, содержащей токсины, канцерогены, аллергены, значительная часть которых не выводит-



Таблица 1

Уровни приемлемого риска

Вид риска	Приемлемое значение
<p><b>Максимальный риск немедленного действия</b> Выражается в вероятности ощущения населением неприятных запахов или развития иных рефлекторных реакций (слезотечение, кашель), дискомфортных состояний, головной боли и пр., что создает основной поток жалоб населения</p>	<p>0,02...0,05 (допускается, что от 20 до 50 человек из каждой тысячи людей, подвергнутых воздействию максимальных уровней загрязнения, могут проявить рефлекторные реакции, тогда как в этом случае для большей части населения эти явления маловероятны)</p>
<p><b>Хронический (неканцерогенный) риск</b> Выражается в вероятности развития симптомов хронической интоксикации на протяжении определенного времени, что количественно связывают с ростом общей заболеваемости без появления каких-либо "специфических" форм заболеваний</p>	<p>0,02 (или 20 дополнительных случаев на 1000 человек), что соответствует интервалу допустимой статистической ошибки</p>
<p><b>Канцерогенный риск</b> Показывает вероятность появления дополнительных случаев заболеваний раком</p>	<p><math>10^{-5} \dots 10^{-6}</math> (или от 10 до 1 дополнительного случая на 1 млн человек)</p>

ся из организма, а постепенно накапливается, подтачивая иммунитет и разрушая наше здоровье.

Было учтено также, что сумма взвешенных веществ (пыль) представляет собой сложную смесь, которая вызывает комплекс симптомов, проявляющихся в затруднениях дыхания и поражении дыхательной системы. Кроме того, при воздействии пыли часто наблюдаются нарушения со стороны сердечно-сосудистой, гормональной, мочевыделительной и других систем.

Известно большое количество полициклических ароматических углеводородов (ПАУ) (нафталин, антрацен, пирен, хризен, фенантрен, бенз(а)антрацен и др.). Соединения этой группы встречаются практически во всех сферах окружающей человека среды. ПАУ образуются главным образом в процессе горения самых различных горючих материалов (уголь, древесина, сланцы, нефтепродукты) при температуре около 80 °С и свыше 500 °С. ПАУ попадают в атмосферу со смолистыми веществами (дымовые газы, копоть, сажа и т. д.), поступают в водоемы со стоками различных видов, атмосферными осадками, выбросами водного транспорта и т. д. Основными антропогенными источниками ПАУ являются [13]:

— стационарные, т. е. промышленные выбросы от коксохимических, металлургических, нефтеперерабатывающих и иных производств, а также отопительных систем и предприятий теплоэнергетики;

— передвижные, т. е. наземный, в основном, автомобильный транспорт, авиация, водный транспорт. Установлено, что только за 1 мин работы газотурбинный двигатель современного самолета выбрасывает в атмосферу 2...4 мг бенз(а)пирена.

Если в 1980 г. на учете в Санкт-Петербурге состояло примерно 200 тыс. автомобилей, а в 1990 г. — около 400 тыс., то в настоящее время их количество превышает 1 млн (по данным за 2007 г. — 1,35 млн — www.autostat.ru). По оценкам специалистов, эксплуатируется от 50 до 70 % автомобилей, находящихся на учете. Как и ранее, основную долю составляет легковой транспорт — примерно 80 %. Специалисты "Автостата" подсчитали, что к началу 2009 г. на каждую 1000 россиян приходилось по 225 легковых автомобилей, а в Санкт-Петербурге — 305.

Индикаторное значение для всех ПАУ имеет бенз(а)пирен (БП). Это обусловлено следующими наблюдениями: 1) БП всегда находят там, где присутствуют другие ПАУ; 2) по сравнению с другими ПАУ именно БП обладает наибольшей стабильностью в окружающей среде; 3) БП отличается наиболее выраженной биологической, в частности, канцерогенной активностью; 4) существующие физико-химические методы индикации БП в различных средах являются наиболее чувствительными среди методов определения ПАУ.

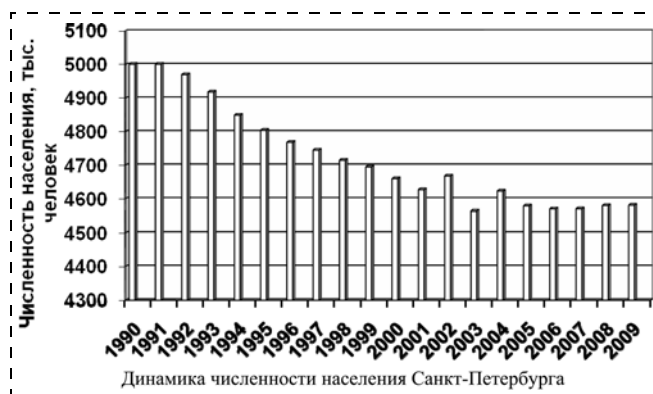
Расчет рисков для здоровья населения города был проведен в два этапа. На первом этапе были рассчитаны *индивидуальные риски здоровью*. На втором этапе — *популяционные риски*. Популяционные риски рассчитывались как произведение индивидуальных рисков на среднегодовое число жителей Санкт-Петербурга (см. рисунок).

Расчет риска здоровью при ингаляционном воздействии взвешенных веществ был проведен по формуле [8]:

$$\text{Риск} = 1 - \exp[-0,174 \cdot (C_{с.г}/\text{ПДК}_{с.с})^b/K_3], \quad (2)$$

где  $C_{с.г}$  — среднегодовая концентрация,  $\text{мкг} \cdot \text{м}^{-3}$ ;  $K_3$  — коэффициент запаса;  $\text{ПДК}_{с.с}$  — предельно допустимая среднесуточная концентрация,  $\text{мкг} \cdot \text{м}^{-3}$ . Для взвешенных веществ  $\text{ПДК}_{с.с} = 150 \text{ мкг} \cdot \text{м}^{-3}$ . Эта концентрация не должна оказывать на человека прямого или косвенного вредного действия при неопределенно долгом (годы) вдыхании взвешенных веществ.

Взвешенные вещества относятся к III классу опасности. Для веществ этого класса опасности  $b = 1,00$  и



Динамика численности населения Санкт-Петербурга



Таблица 2

Динамика индивидуальных и популяционных рисков для здоровья населения Санкт-Петербурга при ингаляционном поступлении взвешенных веществ (в целом по городу)

Год	Годовой индивидуальный риск	Годовой популяционный риск	Год	Годовой индивидуальный риск	Годовой популяционный риск
1990	0,025	125 050	2000	0,050	233 050
1991	0,025	125 050	2001	0,050	231 400
1992	0,050	248 550	2002	0,073	340 837
1993	0,050	245 950	2003	0,049	223 685
1994	0,050	242 490	2004	0,044	203 456
1995	0,050	240 250	2005	0,042	192 360
1996	0,050	238 450	2006	0,038	173 702
1997	0,036	170 856	2007	0,037	169 134
1998	0,035	165 060	2008	0,038	173 586
1999	0,040	187 840	2009	0,032	146 619

$K_3 = 4,5$ . Параметры  $b$  и  $K_3$  рекомендованы для расчетов для времени экспозиции 25 лет. В качестве реальной концентрации обычно выбирается средняя концентрация вещества, поступающего в организм человека в течение его жизни, оцениваемой в 70 лет.

Результаты расчетов популяционных рисков здоровью, приведенные в табл. 2, свидетельствуют о значительной их вариабельности (минимальное значение зафиксировано в 1990—1991 гг. — годовой популяционный риск был равен 125 050, а максимальное значение — в 2002 г. — 340 837).

За весь рассматриваемый период величины годовых индивидуальных рисков превышали приемлемое значение, оцениваемое величиной 0,020 (20 дополнительных случаев на 1000 человек).

Особо отметим, что результаты проведенных расчетов следует рассматривать как сугубо ориентировочные, так как они не учитывают возрастной структуры населения.

Расчет риска здоровью при ингаляционном воздействии бенз(а)пирена был проведен по формуле [2]:

$$Риск = C_{с.г} \cdot SF \cdot \alpha \cdot 20/70, \quad (3)$$

где  $C_{с.г}$  — среднегодовая концентрация канцерогенного вещества, которая предполагается постоянно воздействующей в течение всей жизни индивидуума,  $мг \cdot м^{-3}$ ;  $SF$  — фактор потенциала канцерогенного эффекта при ингаляционном пути поступления, который измеряется как величина, обратная суточной дозе на единицу массы тела ( $мг \cdot кг^{-1} \cdot сут^{-1}$ ) $^{-1}$ ;  $\alpha$  = (время воздействия/70) — коэффициент, отражающий влияние времени, в течение которого индивидуум находился под воздействием (если индивидуум подвергался воздействию в течение 70 лет, то  $\alpha = 70/70 = 1$ ). Для бенз(а)пирена  $SF = 6,11$  ( $мг/кг/день$ ) $^{-1}$ .

После преобразований вышеприведенная формула приводится к виду:

$$Риск = 0,0249 \cdot C_{с.г}. \quad (4)$$

Проведенные расчеты показали, что за период с 1990 по 2009 г. величины годовых индивидуальных

Таблица 3

Динамика индивидуальных и популяционных рисков для здоровья населения Санкт-Петербурга при ингаляционном воздействии бенз(а)пирена (в целом по городу)

Год	Годовой индивидуальный риск	Годовой популяционный риск	Год	Годовой индивидуальный риск	Годовой популяционный риск
1990	$4,9 \cdot 10^{-8}$	0,25	2000	$3,4 \cdot 10^{-8}$	0,16
1991	$2,4 \cdot 10^{-8}$	0,12	2001	$5,2 \cdot 10^{-8}$	0,24
1992	$1,7 \cdot 10^{-8}$	0,09	2002	$6,2 \cdot 10^{-8}$	0,29
1993	$3,2 \cdot 10^{-8}$	0,16	2003	$7,7 \cdot 10^{-8}$	0,35
1994	$2,7 \cdot 10^{-8}$	0,13	2004	$7,2 \cdot 10^{-8}$	0,33
1995	$2,7 \cdot 10^{-8}$	0,13	2005	$6,2 \cdot 10^{-8}$	0,29
1996	$4,4 \cdot 10^{-8}$	0,21	2006	$6,2 \cdot 10^{-8}$	0,28
1997	$3,7 \cdot 10^{-8}$	0,18	2007	$5,4 \cdot 10^{-8}$	0,25
1998	$3,4 \cdot 10^{-8}$	0,16	2008	$4,7 \cdot 10^{-8}$	0,21
1999	$4,7 \cdot 10^{-8}$	0,22	2009	$4,4 \cdot 10^{-8}$	0,21

канцерогенных рисков для здоровья населения Санкт-Петербурга весьма малы и ниже приемлемого риска, оцениваемого величиной  $1 \cdot 10^{-5} \dots 1 \cdot 10^{-6}$  (или от 10 до 1 дополнительных случаев на 1 млн человек) (табл. 3).

#### Список литературы

- Безуглая Э. Ю., Смирнова И. В. Воздух городов и его изменения. — СПб.: Астерион, 2008. — С. 9.
- Большаков А. М., Кутько В. Н., Пуцилло Е. В. Оценка и управление рисками влияния окружающей среды на здоровье человека. — М.: Эдиториал УРСС, 1999. — С. 237.
- Ваганов П. А., Им М. С. Экологический риск. — СПб.: СПбГУ, 1999. — 116 с.
- Грешевников А. Н., Протасов В. Ф. Проблемы экологической безопасности России // Право и безопасность. — № 3 (16). — 2005. — август.
- Измалков В. И., Измалков А. В. Техногенная и экологическая безопасность и управление риском. — СПб.: НИЦЭБ РАН, 1998. — 482 с.
- Карлин Л. Н., Абрамов В. М. Управление энвиронментальными и экологическими рисками. Учебное издание. — СПб.: РГГМУ. 2006. — 330 с.
- Киселев А. В., Фридман К. Б. Оценка риска здоровью. — СПб.: Международный институт оценки риска здоровью, 1997. — С. 43.
- Маймулов В. Г., Нагорный С. В., Шабров А. В. Основы системного анализа в эколого-гигиенических исследованиях. — СПб.: ГМА им. И. И. Мечникова, 2000. — С. 117.
- Музалевский А. А., Воробьев О. Г., Потапов А. И. Экологический риск — СПб.: Изд. СЗТУ, 2001. — 110 с.
- Музалевский А. А., Яйли Е. А. Риск: анализ, оценка, управление: Научное издание. — СПб.: РГГМУ. 2008. — 234 с.
- Сидоренко Г. И., Крутько В. Н. Сохранить здоровье нации. В кн.: Экологическая альтернатива / Под ред. М. Я. Лемешева. — М.: Прогресс, 1990. — С. 626—635.
- Управление риском: Риск. Устойчивое развитие. Синергетика. — М.: Наука, 2000. — 431 с.
- Фруммин Г. Т. Экологическая химия и экологическая токсикология. Учебное пособие. — СПб.: РГГМУ, 2002. — С. 21—22.
- Фруммин Г. Т. Диагностика, оценка и процессы управления экологическими рисками в городской среде. // В кн.: Экология и гидрометеорология больших городов и промышленных зон [Россия—Мексика]. Том II. Мониторинг окружающей среды / Под ред. Л. Н. Карлина и В. А. Шелутко. — СПб.: Изд. РГГМУ, 2010. — С. 164.
- Чижевский А. Л. Космический пульс жизни: Земля в объёмах Солнца. Гелиотараксия — М.: Мысль, 1995. — 772 с.
- Чичерин С. С., Худoley В. В., Флоринская Т. М. Санкт-Петербургу — чистый воздух. СПб.: СПб НЦ РАН, 1999. — С. 5.
- Экологические императивы устойчивого развития России. Из серии: "Россия накануне XXI века". Вып. 5. — СПб.: ТОО ТК Петрополис, 1996. — С. 52.
- Музалевский А. А. Экология: Учеб. пос. / Под ред. Л. Н. Карлина — СПб.: Изд. РГГМУ. 2008. — 604 с.



УДК 378

**Я. С. Ватулин**, канд. техн. наук, **М. Г. Вершовский**, канд. геогр. наук,  
**А. В. Дикинис**, канд. геогр. наук, **Л. Ф. Полякова**, канд. техн. наук, **Д. В. Шилов**,  
Институт геоэкологического инжиниринга Российского государственного  
гидрометеорологического университета, г. Санкт-Петербург  
E-mail: muzalev@yandex.ru

## **Виртуальная реальность в технологиях обучения, переподготовки и повышения квалификации специалистов в сфере обеспечения экологической безопасности**

*Рассмотрены проблемы и пути создания программных средств, использующих технологии виртуальной реальности (VRML, HTML, NanoNET) для обучения специалистов в сфере экологической безопасности методами дистанционного обучения.*

**Ключевые слова:** дистанционное и неконтактное обучение, технологии виртуальной реальности, экологическая безопасность.

**Vatulin Ya. S., Vershovsky M. G., Dikinis A. V., Poliakova L. F., Shilov D. V. Virtual reality in technologies of education, additional training, and retraining of specialists in the field of ecological safety and protection**

*The problems and ways of creation of software tools using virtual reality technologies (VRML, HTML, NanoNET) for training specialists in the field of ecological safety with methods of distance learning are discussed.*

**Keywords:** distance and non-direct learning, technologies of virtual reality, ecological safety.

### **Введение**

В условиях современного состояния общества с особой остротой встает проблема модернизации и структуризации специальных и профессиональных знаний в сфере обеспечения экологической безопасности в различных областях человеческой деятельности. Экспоненциальный рост научного и технического знания делает принципиально неприменимым устаревший подход получения статичного комплекса знаний с дальнейшим его использованием в течение значительного промежутка времени.

Модель современного образовательного процесса должна представлять собой принцип адекватной и своевременной реакции на постоянно возникающие новые вызовы, задачи и проблемы практики. С этой точки зрения наиболее приемлемой моделью является система непрерывного образования, основанная на постоянном обновле-

нии профессиональных знаний и навыков, а в определенных случаях и их принципиальной переориентации.

В данной связи особый интерес представляют автономные или дистанционные способы обучения, когда учебный процесс осуществляется с помощью персонального компьютера непосредственно на месте работы или проживания пользователя. Подобные обучающие технологии обеспечивают значительную экономию капиталовложений на содержание квалифицированных преподавателей, площадей, необходимых для проведения занятий, и целого ряда прочих затрат.

### **Технологии виртуальной реальности**

Среди многочисленных компьютерных решений, обслуживающих указанный вид учебного процесса, особое место занимают *технологии виртуальной реальности* (ТВР), имеющие уникальные возможности и эффективно применяющиеся во многих областях человеческой деятельности. Они успешно зарекомендовали себя в сферах обучения, тренинга, производства, управления, медицины, финансов и бизнеса. Системы этого типа позволяют значительно снизить затраты на обучение и тренировку персонала, повысить производительность труда и существенно облегчить труд преподавателей и инструкторов.

Современные информационные технологии способны моделировать трехмерные виртуальные объекты, близкие по своим визуальным свойствам реальному прототипу. Мультимедийные технологии создают динамичный зрелищный сюжет, где пользователю предоставляется возможность интерактивного влияния на его развитие. Интегрированные в систему элементы искусственного интеллекта позволяют вести осмысленный диалог с компьютером — все эти свойства успешно эксплуатируются разработчиками развлекательных игр. Совмещение познавательного и эмоционального компонентов для целей образования позво-

лило бы решить целый круг проблем, связанных с постановкой задач дистанционного обучения.

Подготовка специалистов в области экологической безопасности на основе ТВР обладает высокой эффективностью в силу того, что эти технологии создают условия для более быстрого и глубокого усвоения материала за счет имитации тех или иных ситуаций специальными компьютерными средствами.

Для адекватного воспроизведения окружающего мира моделями ТВР объекты виртуальной реальности должны вести себя аналогично объектам материального мира. С этой целью в виртуальных мирах создается физика, аналогичная реальной (гравитация, свойства сред, моделирование взаимодействия с объектами и т. п.). Обязательным условием является также применение качественной трехмерной графики.

Высокий уровень реалистичности ТВР дает возможность пользователям рассмотреть различные сценарии развития событий, распределить роли и порядок действий участников. Это заслуживает особого внимания при подготовке учений и организации упорядоченной активности в реальных ситуациях повышенного риска, в том числе и в сфере экологической безопасности.

### Дополняемая реальность

Принципиально новым структурным элементом во взаимодействии человека и компьютерных систем является *дополняемая реальность* (ДР), использующая теории и средства как виртуальной реальности, так и искусственного интеллекта. По сути ДР представляет собой динамическое подключение к моделям ТВР потоков информации, поступающих из реального мира, которые представляются в виде визуальных образов и объектов.

Одно из интенсивно развивающихся направлений технологии ДР — виртуальные оперативно поступающие инструкции в проведении (или воспроизведении) работ в нестандартных и экстремальных ситуациях, в том числе и при отработке ликвидации последствий опасных экологических явлений силами специальных служб (МЧС и аналогичных структур).

Модели ТВР с применением дополняемой реальности могут эффективно применяться и в учебном процессе, например, в виде виртуальных лабораторий. В данном случае ДР обеспечивается виртуальной моделью, связанной с реальным объектом средствами телеметрии. Телеметрическая связь может быть однонаправленной (режим мониторинга) и двунаправленной (режим управления). С помощью подобной информационной системы может осуществляться высокоэффектив-

ное овладение новыми профессиональными навыками путем их пробной реализации на виртуальном оборудовании с соответствующей коррекцией действий обучаемого, проводимой преподавателями и инструкторами.

Благодаря наличию в ТВР функции "телепортации" (перехода из одного виртуального мира в другой), простой интеграции с сетью *Internet*, развитой структуре гиперссылок и т. п. совместное применение ТВР и ДР дает возможность создавать продукты исключительной информационной емкости. Например, конкретный лабораторный курс в области экологической безопасности может быть реализован на основе одной единственной виртуальной модели с вложением субструктур из состава других дисциплин или уже пройденного материала. Таким образом, становится возможным использовать подобные структуры как основу единого информационного пространства для представления информации об объекте на междисциплинарном уровне и на самых разных уровнях динамической сложности.

### Методы создания структур ТВР-ДР

Усложняющим и сдерживающим фактором внедрения данных разработок в учебный процесс является относительная трудоемкость создания подобных структур. Информационные модели такого рода требуют привлечения целого ряда компьютерных технологий.

Создание непосредственно виртуальной модели выполняется с помощью специализированных средств *PDM-технологий* (*Product Data Management* — "управление данными по изделиям и/или выходным материалам"). Примером такой технологии является система *SolidWorks*. В состав продукта включен специализированный модуль (*eDrawings Professional*), предназначенный для оснащения модели пользовательскими функциями управления.

Другой специализированный модуль (*SolidWorks Animator*) осуществляет генерирование анимаций, демонстрирующих структуру изделия или ситуации, а также последовательность действий при эксплуатации продукта или разрешения ситуации. Следует отметить, что сама по себе анимация имеет весьма существенный недостаток, а именно: заранее спланированный сюжет, постоянный маршрут движения камер наблюдения, ракурс, постоянную временную развертку (скорость воспроизведения), фиксированный экранный масштаб. Эти параметры пользователь изменить не может, а информативность анимационного продукта в значительной, если не в определяющей степени, зависит от знаний, видения и мастерства создателя анимационного "фильма". Данная про-



блема традиционно решается путем избыточного оснащения сопроводительной документацией и различными видеороликами пользователя с учетом его вероятных потребностей. Объем данных при этом становится гипертрофированно раздутым, а мобильность системы серьезно ограничивается.

PDM-технологии, несмотря на указанные недостатки, пользуются определенным спросом, однако их применимость могла бы быть значительно более широкой. С точки зрения потребителя-пользователя-практика такая система в идеале должна обладать следующими свойствами:

- последующей независимостью от PDM-системы, создающей "скелет" анимации;
- наличие интуитивно-понятного интерфейса, "дружественного" (*user-friendly*) в отношении потребителя;
- мобильностью и независимостью от платформы (работоспособностью на любом носителе информации и в рамках любой операционной системы: *Windows, Unix, MacOS* и пр.);
- самодостаточностью (отсутствием громоздких *DLL*-библиотек поддержки);
- устойчивостью к повреждениям файловой структуры;
- соответствие умеренным требованиям к ресурсам компьютера (скорости процессора, размеру оперативной памяти и т. п.).

Инженерную визуализацию с учетом вышеизложенных требований с успехом может реализовать специальный язык моделирования виртуальной реальности — VRML (*Virtual Reality Modeling Language* (ISO/IES 14772-1:1997)). Программы визуализации виртуальных миров встроены в основные Интернет-браузеры [1]. Существует также ряд VRML-клиентов независимых производителей, распространяемых бесплатно (например, *Cortona VRML Client* фирмы *ParallelGraphics*). Из инструментальных средств разработки на VRML необходим лишь текстовый редактор, который может быть практически любым. Благодаря относительно небольшому размеру файлов и особой организации данного формата, он одинаково хорошо воспроизводится как на мощных компьютерах, так и на ПК с весьма ограниченными возможностями.

Данный мультиплатформенный формат позволяет осуществлять статическое и анимированное интерактивное трехмерное представление изделий с различными свойствами материалов и способов наложения текстур, имеет возможность изменять точку наблюдения, экранный масштаб, применять световые эффекты, имитировать свойства окружающей среды (осадки, туман и т. п.), интегрировать текстовые и мультимедийные объекты.

Другое важное свойство VRML — встраиваемость (открытая архитектура). Это дает возможность создавать сложные, динамичные трехмерные миры из сравнительно простых независимых структур, что, в свою очередь, позволяет значительно экономить память компьютера и повышает устойчивость модели к отказам на компонентном уровне. Все свойства формата направлены на реализацию основной цели — на максимально точное отображение визуальных свойств реального прототипа для создания у пользователя ощущения контакта с реальностью.

### Создание параметрической трехмерной модели

На данном этапе задача состоит в подготовке высококачественных реалистичных изображений компонентов изделия с помощью выбранной PDM-системы. Основное требование к PDM-системе — производительность трехмерного моделирования, которая определяется и концепцией создания параметрической модели, и "дружественностью" интерфейса системы, и ее ресурсоемкостью, иными словами, тем, насколько PDM-система позволяет разработчику проявить свободу творчества в пределах технических способов ее реализации.

Качественный виртуальный образ изделия должен иметь не только чисто внешний "идентичный" вид (геометрию, цвет, текстуру), но и соответствующие физические характеристики (массу, плотность, вязкость и т. п.).

Следующим шагом является анимация виртуальной модели, которая представляет собой синфазное взаимное пространственное перемещение ее отдельных элементов (причем эти элементы могут представлять собой отдельные независимые файлы). Наиболее известным и приемлемым по функциональности из существующих программно-инструментальных средств является *3ds Max* — продукт компании *Autodesk*. Это полнофункциональная профессиональная программная система для работы с трехмерной графикой. Трехмерные модели, созданные на этапе моделирования, затем импортируются в *3ds Max* в форматах передачи данных VRML [2].

В этом программном продукте особый интерес представляет нелинейная событийно-управляемая система создания анимаций. Обширные инструментальные средства программы, включающие механизм расчета физики поведения объектов, многочисленные модификаторы их свойств и траекторий движений позволяют создать высококачественные по своим визуальным свойствам модели, весьма схожие со своими реальными прототипами.

### Решение проблемы памяти

Основная проблема VRML-технологии — дефицит оперативной памяти компьютера. При построении сложных виртуальных миров, как правило, используется ограниченное число подробных полигональных объектов. При необходимости включения большего числа объектов применяются упрощенные аналоги с текстурами, имитирующими сложную структуру. Подобный подход может быть приемлем в пределах определенных компромиссных решений "объем—качество". Однако создание сложных миров (ситуаций) с объектами, насыщенными анимационными функциями, неизбежно отразится на работоспособности системы.

Решением проблемы может быть загрузка объектов по мере необходимости, а также освобождение оперативной памяти от объектов, которые на данном участке виртуального мира (или в данный момент создаваемой виртуальной ситуации) не важны. Эта задача решается с помощью HTML-разметки, т. е. такой организации интерфейса пользователя, с помощью которой он осуществляет вызов определенных компонентов виртуального мира. При этом все остальные (не участвующие в данной сцене) элементы выгружаются из памяти, освобождая ресурсы компьютера.

### Использование технологии NanoNET

Высокая реалистичность виртуальных тренажеров на основе ТВР обеспечивается также наличием системы обратной связи, выполняющей мониторинговые функции оценки фактического состояния изучаемого объекта в реальном масштабе времени.

Подобную задачу решает технология *NanoNET* (компании *Nanotron Technologies*), основанная на линейно-частотной модуляции сигнала передающих сетей датчиков беспроводной связи. Такие приемопередатчики работают в диапазоне 2,4 ГГц и применяются там, где использование сетей Wi-Fi невозможно ввиду их высокого энергопотребления, а также там, где производительности связи типа *ZigBee* и *Bluetooth* катастрофически не хватает.

Технология *NanoNET* реализована в учебном процессе Российского государственного гидрометеорологического университета. Виртуальный тренажер используется в качестве средства приобретения и отработки новых профессиональных на-

выков. При этом способ представления информации максимально приближен к реально существующему.

Динамические функции осуществляются средствами языка *Java-script*, позволяющими вывести на соответствующие позиции экрана содержимое принятого текстового файла. Таким образом, отдельные компоненты виртуальной модели наблюдаемого объекта оказываются связанными с их реальным прототипом. По мере необходимости пользователь имеет возможность с помощью манипулятора ("мышь") осуществить вызов мониторинговой информации по заданному компоненту путем активизации его виртуального прототипа.

Общей стратегией технологии является создание единого информационного пространства на междисциплинарном уровне для всех участников учебного цикла [3]. Применение взаимодополняющего сочетания VRML, HTML и NanoNET-технологий позволяет создавать полнофункциональные, маневренные приложения, позволяющие осуществлять эффективную информационную поддержку процесса обучения, переподготовки и повышения квалификации специалистов.

### Заключение

Разработанный авторами программный продукт предназначен для решения в реальном времени задачи обучения специалистов по профилю безопасности жизнедеятельности. Он позволяет блокировать неопределенности в деятельности обучающихся с последующей интерпретацией ошибок как тактического, так и стратегического характера. Для принятия решения обращения к дистанционному преподавателю программа оснащена конечными и вероятностными автоматами, анализирующими реакцию обучающегося на первичном (низком) уровне. Программный продукт позволяет дистанционному преподавателю использовать различные дидактические материалы, представленные в различных форматах, и объединять их в единую информационную модель.

### Список литературы

1. **Абрамова О. Д.** Язык VRML: Практическое руководство. — М: ДИАЛОГ-МИФИ, 2000. — 288 с.
2. **Gerhard, M., Harper J., McFarland J.** Mastering Autodesk 3ds Max Design 2010. — NY: Sybex, 2009. — 912 p.
3. **Колчин А. Ф., Овсянников М. В., Стрекалов А. Ф., Сумароков С. В.** Управление жизненным циклом продукции. — М.: Анахарсис, 2002. — 304 с.



УДК 007:57:61 + 574.577

**А. В. Дикинис**, канд. геогр. наук, доц., **В. Б. Сапунов**, д-р биол. наук, вед. науч. сотр.,  
Российский государственный гидрометеорологический университет, г. Санкт-Петербург  
E-mail: Sapunov@rshu.ru

## Критерии экологического благополучия

*Выделены уровни рассмотрения биологических систем, для которых оценивается качество среды. Дана классификация вредных веществ в окружающей среде на токсины, тератогены, канцерогены и мутагены. Предложены три подхода к квалиметрии окружающей среды — антропоцентрический, биоценозоцентрический и специоцентрический. Сформулированы пути развития экологической квалиметрии как самостоятельной области гуманитарных и естественных наук.*

**Ключевые слова:** экологическое благополучие, квалиметрия.

**Dikinis A. V., Sapunov V. B. Criteria of ecological prosperity**

*The aim of article is toward quantitative assay of ecological environment. Levels of living systems organization are listed. All environment damage pollutants are classified on toxins, cancerogens, teratogens and mutagens. Three approaches to quantitative essay of environment are listed. They are approaches based on comfort for human, species and ecological systems. The ecological quolimetry is considered as a special science both of natural and humanitirian fields.*

**Keywords:** ecological prosperity, qualimetry.

### Введение

Для современной теоретической и практической экологии характерны две противоречивых тенденции. С одной стороны, общество все больше осознает значение экологических знаний и необходимость решать глобальные экологические проблемы, накопленные к началу третьего тысячелетия. С другой стороны, происходит *неоправданная политизация экологии*, затрудняющая применение экологических знаний на практике. Одна из причин возможности некорректного использования экологических понятий — отсутствие общепринятых критериев экологического благополучия и неблагополучия. Средства массовой информации манипулируют некорректными понятиями типа "плохая экология", "хорошая экология", подчас выполняя политико-экономический заказ. Цель настоящей работы — выяснить, что такое хорошо и что такое плохо с точки зрения экологии, опираясь на достижения экологической науки. Иными словами, авторы ставят перед собой задачу сформулировать квалиметрические подходы к

оценке качества среды, окружающей человека и другие организмы, с целью эффективного решения прикладных задач рационального природопользования.

### Критерии, принятые в профилактической медицине

Еще до появления экологии как науки профилактическая медицина ставила и подчас успешно решала вопрос о квалиметрии, т. е. оценке качества среды, окружающей человека с медико-биологических позиций [10, 17]. Именно санитарные врачи разработали такие важные понятия как предельно допустимая концентрация (ПДК) вредного вещества, предельно допустимая доза (ПДД), которую может принять в свой организм человек или животное, предельно допустимый сброс (ПДС), предельно допустимый выброс (ПДВ), предельно допустимый уровень (ПДУ) для физических агентов и т. д. Достоинства этих критериев — отработанность и большой эмпирический задел. Недостатки — отсутствие глубокой теории. В профилактической медицине нет учета взаимодействия веществ, отдаленных последствий, генетической изменчивости популяции. Современная экология ввела понятие синергических взаимодействий, при которых разные факторы окружающей среды могут при совместном действии на человеческие и иные организмы ослаблять или усиливать друг друга [15, 19, 28].

Характер действия разных веществ на человека и иные организмы может различаться принципиально. Вредные вещества можно разделить на четыре основные категории по действию на организм — токсины, тератогены, канцерогены, мутагены. *Токсины* отрицательно действуют на физиологические системы организма, не затрагивая генетический аппарат. *Тератогены* нарушают работу генетического аппарата, но не нарушают самой генетической программы. *Канцерогены* затрагивают генетическую программу, вызывая образование злокачественных опухолей. *Мутагены* вызывают наследственные повреждения — мутации. Таким образом, действие токсинов может проявиться немедленно, тератогенов и канцерогенов с некоторой задержкой, а последствия воздействия мутагенов могут сказаться спустя много поколений. Соответственно разным должен быть и подход к оценке вредности разных веществ, определения ПДК и ПДД. Такие подходы могут быть

созданы только на основе синтеза методов медицины, экологии и генетики. Настоящая работа представляет собой попытку создания такого синтеза.

### Подходы, уровни и способы

Развитие любого региона требует объективной оценки экологической обстановки с применением количественных критериев. Фундаментом разработки таких критериев качества природной среды должна стать глобальная экология и учение о биосфере В. И. Вернадского [4], рассматривающего все живые организмы как взаимосвязанные элементы единой системы. Для создания универсальных критериев оценки качества природной среды применимы три подхода.

1. *Антропоцентрический*, основанный на оценке динамики численности населения и динамики продолжительности жизни.

2. *Специоцентрический*, основанный на анализе состояния одного конкретного биологического вида. Речь может идти либо об охраняемом виде, либо о виде, применяемом в биоиндикации для оценки состояния природной среды.

3. *Биоценозоцентрический*, основанный на анализе состояния динамики биологической массы и биологического разнообразия.

Сочетание трех подходов и нескольких критериев позволит ввести объективные методы оценки состояния природной среды. Подходы, основанные на применении этих критериев, могут способствовать формированию теоретической основы рационального природопользования. Оценка имеет смысл только если определен *структурный уровень организации*, по отношению к которому эта оценка работает. Существует множество структурных уровней организации живой природы. Низший — молекулярный. Высший — биосферный. В настоящей работе рассмотрим вопрос об экологическом благополучии применительно к четырем наиболее значимым уровням — организменному, популяционно-видовому, экосистемному, биосферному.

*Существуют два основных способа анализа экологического благополучия* — по компонентам окружающей среды и по реакции биологических систем. Первый всесторонне разработан профилактической медициной. Второй сформулирован таким важным разделом прикладной экологии, как биоиндикацией, активно разрабатываемой с конца прошлого столетия [5, 15]. Особое значение в биоиндикации имеет растительный покров урбанизированных биоценозов [16]. К биоиндикации примыкает близкий метод — биотестирование. Если в случае индикации анализу подлежат организмы, обитающие в природе, то при тестировании используются искусственные мо-

дельные системы, например, аквариумы со стенобионтами, через которые пропускают воду, подлежащую анализу на экологическое качество [32].

### Квалиметрический метод оценки воздействия внешней среды

Охарактеризовать состояние природной среды по всем параметрам невозможно. Поэтому предлагается два подхода.

1. *Выявление интегральных характеристик*, скоррелированных с возможно большим числом свойств среды. В качестве таких интегральных характеристик воды можно рассматривать мутность, прозрачность, насыщенность кислородом и углекислым газом. Генеральные показатели концентрации биогенов в воде, отражающие формы загрязнения, — биологическое потребление кислорода (БПК), химическое потребление кислорода (ХПК). Важную роль также играет концентрация фосфора как основного элемента, вызывающего эвтрофикацию воды. Если речь идет о внутренних пресных водоемах и водотоках, то их общее состояние может быть оценено как по химическому потреблению кислорода, так и визуально по степени эвтрофикации и отнесения водоема к одной из возможных категорий (дистрофный, олиготрофный, мезотрофный, эвтрофный, гиперэвтрофный, болото) [20].

В качестве интегральной характеристики состояния воздушного бассейна можно рассматривать насыщенность его твердыми частицами, что выявляется по прозрачности, концентрации углекислого газа и угарного газа. Эти газы выделяются в ходе комплекса процессов абиотической, биотической и социальной природы. Соответственно, концентрации этих газов характеризуют общее состояние воздушного бассейна. В качестве дополнения можно охарактеризовать концентрацию соединений азота на основе разработанных методик как газа, соединения которого оказывают комплексное влияние на психику человека [2, 27, 28].

В качестве интегральной характеристики состава почв приоритетным должно быть определение в почвах концентрации тяжелых металлов. Данная концентрация является особо значимой для биоты [8, 11].

2. *Второй подход, дополняющий первый*, — интегральная оценка отклика человека и биоты на весь комплекс воздействий со стороны внешней среды. Иными словами, предполагается оценивать результирующий эффект действия разных по направлению и удельному весу факторов среды с учетом возможностей биологического гомеостаза и ассимиляционной емкости экологических систем. Интегральные характеристики, отражающие состояние человеческой популяции, — это продолжительность жизни, доля мертворожденных



детей и детей с наследственными дефектами. Индикаторами могут стать изученные организмы, обитающие в пределах городской среды. Индикатором загрязнения вод служат организмы — стенобионты, существование которых предусматривает высокие требования к качеству вод. К ним относятся некоторые виды ракообразных, двусторчатых моллюсков, стрекоз. Индикатором загрязнения воздушной среды могут быть насекомые, частная феногенетика которых хорошо изучена, например, некоторые виды кокцинелид (божьих коровок), жужелиц. Хорошо известно, что в загрязненных районах преобладают меланизированные формы двухточечной божьей коровки — *Adalia bipunctata* [9, 26]. Индикатором оценки состояния как воздушной среды, так и почв может служить состояние древесной растительности: доля растений, имеющих тератогенные нарушения (дихотомия, трихотомия, искривление ствола у древесных, нарушение структуры початка у кукурузы) [28]. Применение этих относительно несложных по исполнению, но наукоемких по содержанию подходов может быть основой для комплексной оценки состояния природной среды в рассматриваемом регионе.

Квалиметрия как наука об оценке качества уже приобрела статус самостоятельного направления науки [11, 13, 14]. Один из лидеров этого направления — А. И. Субетто [30] определил задачу экологической квалиметрии следующим образом: "Экологическая квалиметрия осуществляет различные типы индикации и картографирования загрязнений экосистем в регионе, в том числе разрабатывает методы расчета комплексных показателей и индексов качества... Механизм экологических оценок должен включать индикационные методы измерения и оценки, в том числе биоиндикацию, радиометрическую индикацию, индикацию по генетическим заболеваниям человека, индексы качества питьевой воды, уровень очистки сточных вод, уровень чистоты производства в регионе и др., а также методы вероятностно-статистических оценок".

Индексная квалиметрия [11–15] способна дать число, вариации которого указывают на увеличение или уменьшение экологически значимой величины, не допускающей точного измерения. В подходе, развиваемом в ряде работ [12, 13], индекс — это величина, построенная из индикаторов. Иначе говоря, индикаторы являются теми элементарными кирпичиками, из которых формируются индексы. Под индикатором понимается численное значение измеряемой величины, мера параметра процесса.

Качество окружающей среды или ее отдельных компонентов может быть оценено на основе сопоставления признаков качества исследуемой системы с системой, выступающей в роли эталона. Согласно методологии экспериментального анализа контрольная и исследуемая системы должны

отличаться одним параметром. В данном случае — степенью экологического давления. В пределах "чистой", контрольной территории (желательно, имеющей статус особо охраняемой) за уровень отсчета можно принять ее основные экологические характеристики в случае, если оценивается химическая составляющая, например, концентраций по одному из следующих вариантов:

- 1) фоновые значения концентраций по всем измеряемым ингредиентам;
- 2) значения ПДК;
- 3) значения, равные разности ПДК и фоновых концентраций соответствующих ингредиентов.

К проблеме оценки качества среды примыкает проблема оценки риска и экологической опасности как меры риска. Экологическая опасность ( $\Omega$ ) — угроза изменения состава или свойств окружающей среды либо появление изменений, связанных с возникновением в ней нежелательных процессов, обусловленных антропогенным воздействием. Смысл данного определения — вероятностный. Это значит, что диапазон изменений этой величины также меняется от 0 до 1.\*

Основные теории, описывающие дальнейшее развитие биосферы в зависимости от антропогенного влияния, делятся на две группы.

1. Теории глобальных кризисов, которые являются развитием неомальтузианства, т. е. современной редакцией теории Мальтуса. В числе лидеров этого направления можно указать американского эколога Пола Эрлиха, французского ученого и популяризатора Жака Кусто. Эти теории проповедуют неизбежность наступления серии глобальных кризисов по мере роста населения и развития научно-технического прогресса [31].

2. Теории рога изобилия, утверждающие, что ресурсы Земли и ближнего космоса (например, солнечная энергия) превышают сколь угодно растущие потребности человечества. Лидерами этого направления можно считать американского экономиста Ю. Саймона, датского математика Б. Ломборга [34] и др. [21, 22, 24].

Сторонники группы теорий "глобальных кризисов" говорят о необратимом разрушении биосферы Земли, вызванном деятельностью человека. Но в соответствии с принципами глобальной экологии, основанной Вернадским, ни один из вымирающих видов не оставляет после себя свободного места. Оно сразу же заполняется другими видами. При этом в большинстве случаев вымирание оказывается мнимым. Дело в том, что наряду с известными и распространенными видами на планете существует множество "скрытых видов", численность которых достаточна для самоподдержания, но мала для устойчивой

\* См. также в этом номере статью Л. Н. Карлина, А. А. Музалевского "Рискологические исследования в РГГМУ", стр. 5–19.



фиксации их методами полевой экологии. При освождении экологической ниши доминировавшим в ней прежде видом скрытые виды быстро размножаются и заполняют брешь в биосфере. При этом геометрическая прогрессия размножения дает возможность заполнить сколь угодно большую нишу за считанное число поколений [21]. Высокую стабильность биосферы обеспечивают:

- большие адаптивные возможности особей, входящих в состав любой популяции, реализуемые в течение онтогенеза;
- высокая потенциальная изменчивость любого вида, возможность подключения дополнительных источников повышения изменчивости при попадании популяции в неблагоприятную среду [25];
- мощь геометрической прогрессии размножения, впервые оцененная Мальтусом и в ее биологических последствиях описанная Дарвиным;
- многообразие видов в биоценозах, среди которых могут оказаться приспособленные к любым условиям.

Таким образом, программы, направленные на повышение глобальной устойчивости биосферы и обеспечение поддержания биологического разнообразия в масштабах всей планеты путем определенной международной демографической политики, следует считать целесообразными, так как эти процессы управляются силами, неподконтрольными человеку. Можно говорить о региональном экологическом контроле ибо в отдельных регионах ситуация может меняться в неблагоприятную для человека сторону, и этими процессами в каких-то пределах можно управлять.

Биосфера — предельно устойчивая структура, живущая по своим не до конца познанным законам. Глобальные нарушения ей, безусловно, не грозят. Соответственно, перейдем от биосферного уровня к тем уровням, квалитетический анализ которых может быть эффективным.

### Организменный и популяционно-видовой уровни

Принятые в санитарной медицине нормативы ПДК и прочие показатели по сути отражают качество окружающей среды для индивидуального среднестатистического организма. Понятие биологической изменчивости здесь отсутствует.

Перейдем к популяционно-видовому уровню. Разберем некоторые аспекты применения специоцентрического подхода. При этом определяющим становится благополучие конкретного вида. В качестве такого может выступать как охраняемый вид, так и индикаторный вид-стенобионт, экологические потребности которого коррелируют с экологическими потребностями человека. В качестве таких индикаторных видов, в случае, если речь идет о чистоте водоема, могут выступать ракообразные, живущие только в чистой воде [32].

Каждый вид характеризуется определенным разнообразием морф и популяций. В подавляющем большинстве случаев их количественное разнообразие описывается распределением Гаусса.

Количественное разнообразие популяции — необходимое условие устойчивости. Для стабильной популяции среднее значение  $\mu \pm 2\sigma$  (средних квадратичных отклонения) охватывает 95 % всей численности популяции. За этими пределами находятся 5 % патологических особей. Именно такая доля ненормальных особей — неизбежная плата за поддержание необходимого уровня адаптивных потенциалов популяции. Попытка определения количественных значений, свидетельствующих о благополучном или неблагополучном состоянии популяции, была предпринята ранее, например в работе [20].

Благополучной может считаться популяция, в которой коэффициент вариации  $CV$  по большинству признаков ( $CV = \sigma/\mu$ ) находился близко к 0,1, и доля атипичных форм была близка к 5 %. Если эти значения превышались, значит идет адаптация к неблагоприятным условиям. Если популяционные значения были ниже приведенных выше, значит популяция оказывалась чрезмерно специализированной и неготовой адаптироваться к возможным изменениям среды. Обстановка может рассматриваться как экологически неблагополучная, если разнообразие морф в изучаемой популяции растет по сравнению с оптимумом. Если разнообразие понижено, популяция может рассматриваться как адаптивная только к узким пределам изменения среды.

Рост биомассы и численности любого вида популяций ограничен. Изменение численности любой биологической популяции проходит через несколько стадий. На первой стадии численность неизменна. На второй стадии наблюдается рост числа организмов со скоростью геометрической прогрессии. На третьей стадии вновь наблюдается стабилизация численности на достигнутом уровне. Наконец, может наступить четвертая стадия — сокращение численности, которая в природных условиях обычно не опускается до нуля.

Отсюда формируется антропоцентрический подход к оценке качества природной среды. Если население растет или не сокращается, то ситуацию можно считать относительно благополучной. Динамика численности населения определяется двумя параметрами — рождаемостью и средней продолжительностью жизни (а также функционально связанной смертностью). Рождаемость в определенный момент развития популяции неизбежно начинает падать, причем это может происходить и в результате роста, и в результате снижения уровня жизни. Увеличение продолжительности жизни происходит в результате роста уровня жизни. Та-



ким образом, если в регионе средняя продолжительность жизни растет или не сокращается, то социально-экологическую ситуацию в регионе следует считать относительно благоприятной.

По аналогии можно выделить *специоцентрический* подход, основанный на анализе состояния популяции одного вида, который является либо охраняемым для данной территории, либо индикаторным, через состояние которого оценивается качество среды. Если для вида численность не имеет тенденции к снижению, то экологическое состояние относительно благополучно.

### Специфика оценки благополучия для вида Человек разумный

Эволюционный успех или неуспех для любого биологического вида, включая Человека разумного, определяется динамикой его численности. Она — суть взаимоотношений рождаемости, смертности и продолжительности жизни. Высшая цель любого исследования и любой практической деятельности — благо человека. Главные показатели экологического и социального благополучия человека — динамика численности и средней продолжительности жизни. Она определяется взаимодействием социальных и экологических факторов окружающей среды.

Продолжительность жизни — один из демографических параметров, который наиболее корректно оценивает качество жизни. *Различают индивидуальную, максимальную, видовую, среднюю продолжительность жизни.*

Индивидуальная продолжительность жизни — срок от рождения до смерти конкретного человека.

Максимальная индивидуальная продолжительность жизни отражает видовые особенности, характеризующие биологическую норму реакции по рассматриваемому параметру. Для человека максимальная достоверно зарегистрированная индивидуальная продолжительность жизни находится в пределах 113...121 год [3].

Видовая продолжительность жизни — это средний максимальный возраст, достигаемый представителями данного вида при наиболее благоприятных условиях существования, т. е. срок жизни, который ограничивается только генетическим своеобразием особей данного вида. Для человека это 95 лет — срок, который может прожить средний индивид при правильном образе жизни. Видовая продолжительность жизни в первую очередь определяется генетическими факторами и незначительно зависит от средовых факторов.

Средняя продолжительность жизни зависит от социальных, экономических, экологических, медико-биологических условий. Последние десятилетия роль социальных факторов стала резко возрастать. В историческом плане средняя продолжительность жизни человека неуклонно возрастает

[1, 18, 29]. Рост численности населения осуществляется главным образом за счет не роста рождаемости, а снижения смертности.

### Уровень экологических систем

Принципиально важный подход для оценки экологического благополучия экосистемы предложили Израэль и Цыбань [6], введя понятие "ассимиляционная емкость экологической системы". Это — показатель максимальной динамической вместимости количества загрязняющего вещества, которое может быть за единицу времени накоплено, разрушено, трансформировано и выведено за пределы экосистемы без нарушения нормальной ее деятельности. В известной мере это понятие выросло из категорий ПДВ и ПДС, рассмотренных выше, путем перевода этих понятий из области профилактической медицины в область экологии.

Состояние биоценоза характеризуется двумя параметрами — биомассой и видовым разнообразием. Простейший подход — оценка биомассы на единицу площади (в первую очередь растительной, так как растения составляют 99,2 % массы биосферы) [7, 28]. Если биомасса  $BM$  в регионе стала достоверно уменьшаться  $dBM < 0$ , это признак неблагополучия.

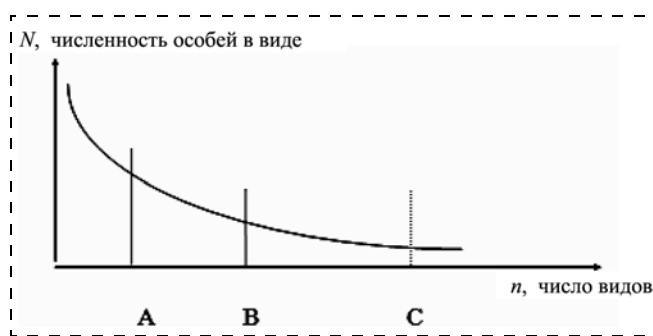
Другая важная характеристика — видовое разнообразие. Его оценка опирается на принцип "Необходимого разнообразия Эшби", который утверждает, что гомеостатичность системы возможна при некоем минимальном уровне разнообразия входящих в нее элементов. Методы оценки разнообразия менее просты, чем методы оценки биомассы. Во всяком случае, его нельзя оценивать числом видов на единицу площади хотя бы потому, что нет объективных методов такой оценки.

Распределение видов по численности особей носит характер, изображенный на рисунке.

Распределение видов по численности особей описывается уравнением:

$$N = D + Ge^{-Hn}, \quad (1)$$

где  $D$ ,  $G$ ,  $H$  — коэффициенты [25].



Распределение видов в биоценозе по численности особей

Точки *A, B, C* разграничивают три категории видов: 1) доминирующие (определяющие структуру биоценоза); 2) редкие, 3) скрытые (т. е. настолько редкие, что они не могут устойчиво фиксироваться методами полевой экологии). Последних особенно много, и среди их разнообразия может выявиться вид, преадаптированный почти к любым изменениям природной среды. Устойчивость биоценоза определяется не абсолютным числом видов, а той их пропорцией, которая обеспечивает должную гомеостатичность экологической системы. При увеличении крутизны спада кривой сокращается разнообразие экосистемы. Более крутой спад свидетельствует о том, что возрастает степень доминирования основных, преобладающих видов и сокращается доля редких и скрытых видов, хотя общее число видов может при этом значительно не измениться.

В соответствии с принципом необходимого разнообразия Эшби, гомеостатичность любой системы и экологической системы, в частности, в результате снижается. В работе [23] была предпринята попытка найти коэффициенты в формуле (1), соответствующие заведомо благополучному биоценозу на материале насекомых Вепсовской возвышенности — наименее затронутого хозяйственной деятельностью места Ленинградской области. Были найдены значения  $D = 1$ ,  $G = 138$ ,  $H = 1$ . Можно сделать вывод, что при соблюдении достоверности неравенств  $G > 138$  и  $H > 1$  биоценоз снижает устойчивость. В качестве показателей разнообразия  $D$  ряд авторов [33 и др.] предлагают использовать широко известную формулу Шеннона, исходно оценивающую количество информации в системе:

$$D = -\sum p_i \log_2 p_i,$$

где  $p$  — доля  $i$ -го вида в биоценозе.

Достоверное снижение показателя разнообразия свидетельствует о снижении уровня устойчивости системы. Другой вариант оценки степени разнообразия — через значение коэффициента  $H$  в формуле (1). Его достоверное увеличение говорит об увеличении степени доминирования небольшого числа видов и снижении необходимого разнообразия.

### Заключение

Природная среда непрерывно меняется. При этом изменения, вызванные естественными причинами обычно значительнее, чем изменения, связанные с социальной деятельностью человека. При любых изменениях среда должна сохранять свою оптимальность для человека и не требовать включения адаптивных резервов, даже если они у человека как вида еще есть. Цель, поставленная настоящей работой, — рассмотрение подходов к оценке качества природной среды. Выделены уровни рассмотрения биологических систем, для которых оценивается качество среды. Дана классификация вредных веществ в окру-

жающей среде на токсины, тератогены, канцерогены и мутагены. Предложены три подхода к квалиметрии окружающей среды — антропоцентрический, биоценоцентрический и специоцентрический. Сформулированы пути развития экологической квалиметрии как самостоятельной области гуманитарных и естественных наук.

По мнению авторов, генеральная стратегия охраны природы должна основываться не только на сохранении человеческой популяции (какая-то ее часть уцелеет даже после ядерной войны), но и на создание благоприятных условий для подавляющего большинства человеческих индивидуумов. Генеральный показатель оптимальности, применяемый в антропоцентрическом подходе к состоянию среды, — средняя продолжительность жизни. Ее сокращение в каком-либо регионе свидетельствует об экологическом неблагополучии.

На сегодняшний день еще не существует набора общепринятых критериев экологического качества среды, окружающей человека или иные организмы. Но существующий задел в области профилактической медицины, экологии, генетики и других наук с подключением общей квалиметрии как раздела прикладной математики достаточен для создания таких критериев. Критерии эти должны иметь такой же законодательный характер как традиционные требования профилактической медицины.

### Список литературы

1. Агаджанян Н. А. Экология человека. — М., 1994. — С. 183—199 [электронный ресурс]: библиотека образовательных ресурсов / Copyright edulib.ru ГУЦБОР Минобрнауки РФ. — Режим доступа к библиотеке [www.edulib.ru](http://www.edulib.ru).
2. Безуглая Э. Ю., Смирнова И. В. Воздух городов и его изменения. — СПб.: Астериум, 2008. — 254 с.
3. Бердышев Г. Д. Реальность долголетия и иллюзия бессмертия. — Киев: Политическая литература Украины, 1989. — С. 54—243.
4. Вернадский В. И. Размышления натуралиста. — М.: Наука, 1975. — 175 с.
5. Биологическая индикация в антропоэкологии. — Л.: Наука, 1984. — 224 с.
6. Израэль Ю. А., Цыбань А. В. Антропогенная экология океана. — Л.: Гидрометеоздат, 1989. — 528 с.
7. Камшилов М. М. Эволюция биосферы. — М.: Наука, 1979.
8. Козубов Г. М., Таскаев А. И. Особенности морфогенеза и ростовых процессов у хвойных растений в районе аварии на ЧАЭС // Радиационная биология. Радиоэкология. — 2007. — Т. 47. — № 2 — С. 204—223.
9. Лусис Я. Я. Таксономические отношения и географическое распределение форм жуков *Adalia musland* // Ученые записки ЛГУ им. П. Стучки. — 1973. — Т. 184. — Вып. 1. — С. 90—100.
10. Минх А. А. Справочник по санитарно-гигиеническим исследованиям. — М.: Медицина, 1974.
11. Музалевский А. А. Индикаторы, индексы и индексы качества в экологии. В книге: Abstract book "INDEX" — 97. — St.-Petersburg, Russia. — July 7—11. — 1997.
12. Музалевский А. А. Индикаторы и индексы экодинамики. Методологические аспекты проблемы экологических индикаторов и индексов устойчивого развития // Труды 3-й Межд. конференции по мягким вычислениям и измерениям SCM. — 2000. — Т. 1. — С. 36—46.
13. Музалевский А. А., Воробьев О. Г., Потапов А. И. Экологический риск. Учебное пособие. СПб.: Изд. СЗТУ, 2001. — 110 с.
14. Музалевский А. А., Яйли Е. А. РИСК: анализ, оценка, управление: Научное издание. СПб.: Изд. РГТМУ, 2008. — 234 с.



15. Музалевский А. А. Экология: Учебное пособие / Под ред. Л. Н. Карлина. — СПб.: Изд. РГГМУ, 2008. — 604 с.
16. Неверова О. А. Применение фитоиндикации в оценке загрязнения окружающей среды // Биосфера. — 2009. — № 1. — С. 82—92.
17. Ноология, экология ноосферы, здоровье и образ жизни. — СПб.: Наука, 1996. — 268 с.
18. Орлова И. Смертность в современной России: характер и особенности [электронный ресурс]: журнал/институт социально-политических исследований, Российская академия наук (ИСПИ РАН), 2002 — Режим доступа: [www.isprg.ru/JURNAL/jurnal109.html](http://www.isprg.ru/JURNAL/jurnal109.html).
19. Петин В. Г., Жураковская Г. П. Концептуальные основы синергического взаимодействия ионизирующих излучений и других факторов окружающей среды // Биосфера. — 2009. — № 1. С. 58—64.
20. Сапунов В. Б. О возможностях количественной оценки направления микроэволюционного процесса на основе краткосрочного анализа популяции // Биол. Науки. — 1988. — № 4. — С. 62—68.
21. Сапунов В. Б. Глобальные основы устойчивости биосферы // Фундаментальные проблемы естествознания. — СПб.: РАН, 1998. — С. 187—188.
22. Сапунов В. Б. Скрытый экологический резерв биосферы // Региональная экология. — 1998. — № 1. С. 13—17.
23. Сапунов В. Б. Количественный подход к оценке видового разнообразия (на примере насекомых Вепсовской возвышенности) // Региональная экология. — 1998. — № 3—4. — С. 39—42.
24. Сапунов В. Б. О возможности количественной оценки направления микроэволюционного процесса на основе краткосрочного анализа популяции // Биол. науки. — 1988. — № 4. — С. 62—68.
25. Сапунов В. Б. Критерии экологического благополучия // Ноология, экология ноосферы, здоровье и образ жизни. — СПб.: Наука, 1996. — С. 80—85.
26. Сапунов В. Б. Инструкция для проведения фенологических наблюдений на территории Ленинградской области // Экологические вести. 1999. — № 1. — С. 20—23.
27. Сапунов В. Б. Прогнозирование действия вредных газов на население на основе популяционно-генетического подхода // 5-я межд. конф. Воздух. Качество воздушной среды. — СПб., 2007. — С. 53—54.
28. Сапунов В. Б., Дикинис А. В. Использование городской растительности для оценки экологического качества окружающей среды // Проблемы озеленения крупных городов. Мат. XIII межд. Науч.-практ. конф. — М., 2010. — С. 25—27.
29. Слука А. Е. (2000). География населения с основами демографии. — М. — С. 43—52 [электронный ресурс]: библиотека образовательных ресурсов // Copyright edulib.ru ГУЦБОР Минобразования РФ — Режим доступа: [www.edulib.ru](http://www.edulib.ru).
30. Субетто А. И. Творчество, жизнь, здоровье и гармония. — М.: Логос, 1992. — 202 с.
31. Тайерни Д. Пари о мировых ресурсах // Диалог-США. — 1992. — № 50. — С. 60—65.
32. Федотов В. П. Разведение раков. — СПб.: Биосвязь, 1986.
33. Цветкова Л. И., Алексеев М. И. и др. Экология: Учеб. — Санкт-Петербург, 2001 — 552 с.
34. Lomborg B. The skeptical environmentalist Measuring the real state of the world. — Cambridge: Cambridge Univ Press. — 2002. — 515 p.

УДК [502.51(26):504.5:574.5](4702)

**В. В. Дроздов**, канд. геогр. наук, доц., **Н. П. Смирнов**, д-р геогр. наук, проф.,  
Российский государственный метеорологический университет, г. Санкт-Петербург  
E-mail: [vladidroz dov@yandex.ru](mailto:vladidroz dov@yandex.ru)

## Качество питьевой воды в областных центрах Северо-Западного федерального округа как фактор безопасности жизнедеятельности населения

*Рассмотрены особенности современного состояния источников питьевого водоснабжения крупных областных центров Северо-Западного федерального округа Российской Федерации. Предложены пути совершенствования системы водоснабжения в целях повышения безопасности жизнедеятельности населения региона.*

**Ключевые слова:** вода, питьевая вода, качество питьевой воды, здоровье, безопасность населения.

**Droz dov V. V., Smirnov N. P. Quality of potable water in the regional centers of North-west federal district as the factor of health and safety of the population**

*Features of a current state of sources of drinking water supply of the large regional centers of Northwest federal district of the Russian Federation are considered. Ways of perfection of system of water supply with a view of increase of health and safety of the population of region are offered.*

**Keywords:** water, potable water, quality of potable water, humanity health, population safety.

Северо-Западный федеральный округ РФ (СЗФО) расположен в зоне избыточного увлажнения, что определяет наличие весьма значительного объема ресурсов поверхностных и подземных вод. Экономика Северо-Западного федерального округа имеет большую сырьевую направленность. Развитая промышленная деятельность СЗФО определяет значительный уровень загрязнения поверхностных вод тяжелыми металлами и нефтепродуктами.

К числу важнейших промышленных районов с большой концентрацией населения, помимо Санкт-Петербурга, принадлежат города Архангельск, Мурманск, Калининград, Нарьян-Мар, Великий Новгород и Псков, а также Петрозаводск

и Выборг. В большинстве этих городов практически нет дефицита воды для промышленных и коммунально-бытовых целей, но наблюдается острая проблема нехватки чистой питьевой воды для безопасного снабжения жителей. При этом в городах, расположенных вблизи морского побережья, проблемой, помимо токсического загрязнения поверхностных вод, является периодический процесс проникновения в водозаборные створы солоноватых вод морского происхождения. Эти водные массы с повышенным содержанием хлора и других вредных для здоровья компонентов способны проникать достаточно далеко вверх по течению рек, из которых происходит водозабор, при развитии соответствующей штормовой погоды над морской акваторией.

Рассмотрим основные причины возникновения дефицита чистой пресной питьевой воды в областях и городах СЗФО и сформулируем предпосылки для выхода из сложившейся кризисной ситуации.

На фоне общего неудовлетворительного состояния питьевого водоснабжения в России *Архангельская область* входит в число трех самых неблагоприятных регионов по обеспечению населения чистой питьевой водой. Источниками загрязнения вод Северной Двины, используемых для водоснабжения г. Архангельска, являются многочисленные промышленные предприятия, расположенные вдоль ее русла и притоков. Это, прежде всего, шесть крупных целлюлозно-бумажных комбинатов (Сыктывкарский ЛПК, Сокольский, Сухонский, Котласский, Архангельский, Соломбальский ЦБК), а также сточные воды городов и объектов сельского хозяйства. Не отвечающее гигиеническим требованиям (СанПин 2.1.4.1074—01) качество забираемых из реки вод в значительной мере обусловлено также неудачным расположением водозабора в зоне сброса городских хозяйственно-бытовых и производственных стоков с высоким содержанием вредных, в том числе органических, веществ. В результате дальнейшее использование для питьевого водоснабжения вод Северной Двины становится опасным для здоровья и жизни населения, поскольку при существующих масштабах загрязнения никакие технические решения уже не решают проблему очистки воды.

Применяемый метод обеззараживания — прямое первичное хлорирование сырой воды, содержащей значительное количество органических веществ естественного и антропогенного происхождения, приводит к появлению в потребляемой воде канцерогенных соединений. В итоге высокий уровень заболеваемости населения в городе обусловлен в основном низким качеством питьевой воды. Альтернативой поверхностным речным водам, используемым для централизованного водоснабжения г. Архангельска, могут быть только месторождения

пресных подземных вод. Наиболее надежным источником для водоснабжения областного центра является месторождение Архангельское. Оно располагается в благоприятных геолого-экономических и экологических условиях и по своим масштабам способно полностью удовлетворить потребности города в качественной питьевой водой.

В *Мурманской области* сконцентрированы крупнейшие предприятия горнодобывающей промышленности и цветной металлургии России, деятельность которых оказывала и оказывает существенное негативное воздействие на окружающую природную среду. Водные объекты наиболее интенсивно загрязняются горнодобывающими предприятиями: ОАО "Апатит", "Кольская ГМК" ("Северо-Никель", "Печенга-Никель"), "Ковдорский ГОК", "Ловозерская горно-обогатительная компания" и др.

В настоящее время водоснабжение г. Мурманска обеспечивается за счет трех открытых источников: рек Кола и Тулома и системы озер Рогозера и Большого. Вода, потребляемая из рек Кола и Тулома, проходит очистку по одноступенчатой схеме и обеззараживание хлором. Водопроводные очистные сооружения Тулома—Мурманск введены в эксплуатацию в 1989 г. Производственная мощность этих сооружений составляет 100 тыс. м<sup>3</sup>/сут. Вода из системы озер Рогозеро и Большого подается без очистки после хлорирования жидким хлором. Основным источником питьевого водоснабжения г. Мурманска является река Кола. Данный водоток подвержен интенсивному загрязнению с поверхности водосбора.

Решение проблемы обеспечения населения Мурманской области качественной питьевой водой связано с социально-экологической обстановкой, безопасностью жизнедеятельности и качеством жизни людей [4]. Водоснабжение Мурманска возможно осуществлять из двух подземных месторождений — Кольского и Нижнетуломского. Они уже разведаны и прошли госэкспертизу. Суммарная мощность двух месторождений составляет около 210 тысяч м<sup>3</sup> воды в сутки. Ее должно хватить на весь областной центр. Кроме того, необходимо реконструировать городские сети водоснабжения, без этого другие меры во многом теряют свою эффективность.

Система водоснабжения г. Калининграда весьма зависима от погодных условий. Основным объектом водозабора является река Преголя. При сильных западных ветрах в реке резко повышается уровень хлоридов. Центральная станция берет воду из открытых искусственных водохранилищ. Во время засухи 2002 и 2003 гг. их запасы составили всего 54 и 40 % от максимума. Вследствие этого в августе и первой декаде сентября 2003 г. допускались перебои водоснабжения [2]. Общая длина водопроводных сетей, обслуживающих город, составляет 791,5 км,



из них 70 % довоенной постройки, неоднократно выработавшие положенный нормативный срок эксплуатации. Необходимо продолжить реконструкцию старейшей Центральной водопроводной станции и водозабора на озере "Нескучное".

Решением вопроса бесперебойного водоснабжения жителей Северного микрорайона г. Калининграда может стать строительство водовода от Московской насосной станции до улицы Артиллерийской. В целях снижения дефицита водоснабжения целесообразно развитие Восточной водопроводной станции — реанимация старых и бурение новых скважин. В ближайшее время в г. Калининграде вступит в эксплуатацию новая система канализации. Два коллектора начнут работать независимо друг от друга и не только снимут существующую нагрузку, но вместе с возросшими мощностями водоснабжения обеспечат нужды развития г. Калининграда на долгие годы. Их пуск значительно оздоровит экологическую обстановку на побережье, кардинально сократит отрицательное воздействие стоков областного центра на Балтийское море и Калининградскую область.

*Великий Новгород* является крупным промышленным центром. Основной водозабор осуществляется из реки Волхов, загрязнение в которой весьма значительно. В дополнение к токсическому загрязнению воды, направляемой на снабжение предприятий и населения после дорогостоящей и не всегда эффективной очистки, в г. Великом Новгороде на режим водопотребления оказывают воздействие погодные условия. В осенне-зимний период образовавшийся в связи с заморозками и последующей оттепелью на реке Волхов лед достаточно часто создает проблемы в водоснабжении города. Мелкий лед способен частично забить городской водозабор. Это приводит к временному снижению давления в водоводах на 30...40 %. В городе существует также и система резервуаров, где хранится вода, распределяемая по коллекторам в случае необходимости. Кроме того, возникают случаи резкого понижения уровня воды в реке Волхов, что также приводит к недостаточному водоснабжению. Так, в октябре 1997 г. уровень воды реки Волхов в Великом Новгороде был на 90 см ниже среднемноголетнего значения. Низкую водность рек Новгородской области в 1997 г. вызвали ранние сроки прохождения и небольшой объем стока весеннего половодья, а также дефицит осадков в летне-осенний период.

Таким образом, возникает необходимость поиска альтернативного источника водоснабжения, ресурсы которого не находились бы в зависимости от погодных явлений. Геологи обнаружили под Великим Новгородом крупнейший в СЗФО источник артезианских вод, который располагается примерно в 30 км от Великого Новгорода, на границе Новгородского и Батецкого районов. По

мнению специалистов, расположенный на глубине от 30 до 50 м источник позволит ежедневно получать около 95 тыс. м<sup>3</sup> воды. Данное месторождение способно полностью обеспечить артезианской водой жителей Великого Новгорода.

Вода в открытых водоемах г. Пскова характеризуется от умеренно-загрязненной до загрязненной. В последние годы уменьшилось поступление в речную сеть азота, но увеличился сброс фосфора и его соединений, а также сброс меди. В основном это происходит за счет увеличения сброса сточных вод предприятиями жилищно-коммунального хозяйства ввиду перегрузки очистных сооружений и крайней степени их износа на ряде промышленных предприятий. По микробиологическим показателям за последние 5 лет загрязнение воды в открытых водоемах остается прежним и характеризуется как предельно высокое. Важным обстоятельством является тот факт, что 57 % загрязняющих веществ (оксиды серы и азота, фенолы и формальдегиды) выпадают на территорию области в результате трансграничного переноса воздушных масс из Западной и Восточной Европы. Псков расположен на берегу реки Великой. Очистные сооружения ливневой канализации, которые пущены в 1987 г., не позволяют в настоящее время эффективно очищать сточные воды.

В районе г. *Нарьян-Мара* большинство окружающих поселений испытывают нехватку питьевой воды, а в Нельмин Носе, Андеге, Усть-Каре ее попросту нет. Для своих нужд жители берут воду где придется: зимой — из снега и льда, летом — из близлежащих водоемов или используют, так называемую, "техническую" воду, которая не соответствует ГОСТу и нормативным требованиям. Кроме того, абсолютное большинство водозаборов в окружающих деревнях и селах не обустроены зонами санитарной охраны. Из-за этого происходит загрязнение воды вредными химическими веществами, и многие скважины требуют ремонта. Отмечались случаи эпидемии гепатита в Усть-Каре, вызванные отсутствием качественной питьевой воды. Предусматривается строительство водозаборов в Каратайке, Усть-Каре, Индиге, Хорей-Вере, Нельмин-Носе и обустройство колонок. Окончательно проблему обеспечения жителей качественной водой существующие программы не решают. Они лишь позволяют повысить уровень этой обеспеченности — до 78 %.

Основная проблема водоснабжения г. *Петрозаводска* — недостаток питьевой воды надлежащего качества и аварийное состояние водопроводных сетей. Источником централизованного водоснабжения Петрозаводского городского округа является Петрозаводская губа Онежского озера. Водоснабжение города осуществляется комплексом водозаборных и очистных сооружений полезной производительностью 120 тыс. м<sup>3</sup>/сут. Исходная вода поступает на водозаборные очистные соору-

жения из водозабора, расположенного в створе улиц Ленинградской — Московской, на расстоянии 600 м от берега. Качество воды в источнике зависит от периода года и характеризуется следующими факторами [2]:

— в осенне-зимний период года с началом ледостава прекращается водообмен Петрозаводской губы с Онежским озером и в район водозабора начинают поступать воды реки Шуя с высокой цветностью;

— в весенний период с началом паводка в район водозабора начинается поступление неочищенных ливневых вод города и промышленных предприятий.

В летний период качество исходной воды несколько улучшается за счет естественного водообмена Петрозаводской губы с Онежским озером. Действующая система очистки не справляется с высокой цветностью воды Петрозаводской губы. Постоянный поиск путей улучшения качества воды, подаваемой в город, обусловил необходимость применения реагентной обработки. Оптимально выгодным вариантом в настоящее время и в будущем является применение в качестве коагулянта для обработки воды оксихлорида алюминия PAX-18 в сочетании с флокулянтom Fennopol N200 E. Однако технической возможности применения реагентной обработки воды на 100 % при имеющихся в настоящее время производственных мощностях нет.

Кроме того, недостаточная очистка сточных вод, сбрасываемых предприятиями и организациями города в Онежское озеро, приводит к загрязнению поверхностных водных объектов. В связи с этим решение одной из основных экологических проблем города связано с модернизацией очистных сооружений водозабора и повышением степени очистки сбрасываемых сточных вод. Целесообразно провести разработку альтернативных источников водоснабжения — это подземные воды, путь к которым лежит через артезианские скважины. Исследования гидрогеологов доказали, что природные особенности в окрестностях г. Петрозаводска вполне позволяют рассматривать подземные воды в качестве реального нового источника централизованного не только питьевого, но и хозяйственного водоснабжения города.

*Выборг* — крупнейший областной центр Ленинградской области — с населением около 80 тыс. человек отличается тем, что значительная часть города расположена на островах и побережье Выборгского залива Балтийского моря. Близость границы с Финляндией, наличие в окрестностях ряда особо охраняемых природных территорий и музеев-заповедников, в том числе крупнейшего в России ландшафтного парка Монрепо, средневековые памятники западноевропейской архитектуры, возраст некоторых из которых превышает 700 лет — все это позволяет говорить о Выборге как об уникальном районе в составе

СЗФО. Однако в настоящее время уровень загрязненности городских территорий и акваторий является одним из самых высоких в Ленинградской области.

Весьма остро стоит и проблема обеспечения жителей Выборга чистой питьевой водой. Первые водопроводные трубы в Выборге были проложены еще финнами и шведами в конце XIX века. В XX веке государственная принадлежность города менялась, на его территории неоднократно шли боевые действия. Финансирование водопроводно-канализационного хозяйства Выборга в целом оказывалось недостаточным. Поэтому к 2008 г. до 80 % его водопроводных сетей оказались изношены. Основная проблема заключается в чрезмерном загрязнении нынешнего источника водоснабжения города — озера Краснохолмское, расположенного в 5 км к северо-востоку от г. Выборга.

Систему очистки питьевой воды перед подачей в жилые дома необходимо полностью реконструировать. Параллельно целесообразно рассмотреть альтернативный вариант водоснабжения — строительство 15-километрового водовода до Выборга от подземной реки, обнаруженной в районе поселка Толоконниково. Подземная река способна обеспечить суточную потребность в питьевой воде в 50 тыс. м<sup>3</sup>, при этом в настоящее время водопотребление Выборга составляет 22...23 тыс. м<sup>3</sup>. Таким образом, система питьевого водоснабжения Выборга требует скорейшей и коренной модернизации. Значительные площади акваторий и территорий города требуют улучшения санитарно-экологического состояния и эстетического облика.

Основные источники питьевого водоснабжения вышеперечисленных городов Северо-Западного Федерального округа представлены на рисунке.



Схема распределения основных источников водоснабжения городов и областей Северо-Западного Федерального округа



Основываясь на анализе информации об экологическом состоянии водных объектов в Северо-Западном федеральном округе, а также на основе данных о современных технологиях, применяемых в системах водоснабжения и водоочистки в странах Западной Европы и Скандинавии, можно сформулировать основные направления Программы обеспечения населения СЗФО чистой питьевой водой.

1. Провести анализ целесообразности расположения сооружений водозаборов в зависимости от близости зон водоспусков сооружений очистки сточных вод. Учитывать также при размещении пунктов водозабора возможность поступления в русло реки соленых морских вод при соответствующей погодной обстановке.

2. Усовершенствовать защиту от механического воздействия на водозаборные коллекторы льда и плавающих предметов.

3. Внедрить современные многоступенчатые системы очистки забираемых природных вод, первичное качество которых не удовлетворяет существующим нормативам. Обязательным должно стать применение ультрафиолетовых установок для борьбы с бактериями и вирусами на водозаборе и при сбросе использованных в коммунально-бытовом секторе вод [4]. Возможно также рассмотреть применение установок обеззараживания на основе метода озонирования [1, 3].

4. Разработать режим использования водного объекта с целью водозабора с учетом уровня его естественной наполняемости в конкретные сезоны года.

5. Создать систему водохранилищ на реках, обеспечивающих устойчивое регулирование доступных объемов водных ресурсов.

6. Модернизировать системы водопроводящих коллекторов, применять новейшие материалы для изготовления водопроводных труб и агрегатов, обладающих повышенной стойкостью к износу и коррозии.

7. Осуществить дополнительные геологоразведочные работы с целью обнаружения во всех субъектах Северо-Западного Федерального округа подземных водных запасов надлежащего качества.

Решение данных задач возможно в рамках реализации Федеральной целевой программы "Чистая вода".

#### Список литературы

1. Жуков Н. Н., Драгинский В. Л., Алексеева Л. П. Озонирование воды в технологии водоподготовки // Водоснабжение и сан. техника. — 2000. — №1 — С. 2—4.
2. Карлин Л. Н., Музалевский А. Н., Дроздов В. В. Вода из-под крана — пить или не пить? // Северо-Запад сегодня и завтра — 2009. — С. 42—43.
3. Методические указания по дезинфекции озоном воды и систем водоснабжения судов. — М.: 1988. — 21 с.
4. Онищенко Г. Г. Эффективное обеззараживание воды — основа профилактики инфекционных заболеваний // Водоснабжение и санитарная техника. — 2005. — № 12.

---

#### Учредитель ООО «Издательство "Новые технологии"»

Журнал выходит при содействии Учебно-методического совета "Техносферная безопасность" Учебно-методического объединения вузов по университетскому политехническому образованию и Научно-методического совета "Безопасность жизнедеятельности" Министерства образования и науки Российской Федерации

**ООО "Издательство "Новые технологии". 107076, Москва, Стромынский пер., 4**

**Телефон редакции журнала (499) 269-5397, тел./факс (499) 269-5510, e-mail: bjd@novtex.ru, <http://novtex.ru/bjd>**

**Телефон главного редактора (812) 550-0766, e-mail: [rusak-maneb@mail.ru](mailto:rusak-maneb@mail.ru)**

Дизайнер *Т. Н. Погорелова*.

Технический редактор *Е. М. Патрушева*. Корректор *Е. В. Комиссарова*

Сдано в набор 13.12.10. Подписано в печать 24.01.11. Формат 60 × 88 1/8. Бумага офсетная. Печать офсетная. Усл. печ. л. 6,86. Уч-изд. л. 8,45. Заказ 61.

Журнал зарегистрирован в Министерстве Российской Федерации по делам печати, телерадиовещания и средств массовых коммуникаций.

Свидетельство о регистрации ПИ № 77-3762 от 20.06.2000.

Отпечатано в ООО "Подольская Периодика". 142100, Московская обл., г. Подольск, ул. Кирова, 15.