

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования «Российский государственный гидрометеорологический
университет»

На правах рукописи

Мальшева Наталия Александровна

**ЭКОЛОГО-ТОКСИКОЛОГИЧЕСКИЙ ПОДХОД К КОМПЛЕКСНОЙ ОЦЕНКЕ
ЗАГРЯЗНЁННОСТИ ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОД СУШИ**

Специальность: 25.00.36 - Геоэкология (Науки о Земле)

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
кандидата географических наук

Санкт-Петербург – 2020

Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Российский государственный гидрометеорологический университет».

- Научный руководитель:** **Фрумин Григорий Тевелевич**
доктор химических наук, профессор, ведущий научный сотрудник научно-исследовательской лаборатории факультета географии ФГБОУ ВО «Российский государственный педагогический университет им. А.И. Герцена»
- Официальные оппоненты:** **Рыбалко Александр Евменьевич**
доктор геолого-минералогических наук, ведущий научный сотрудник ФГБУ «ВНИИ геологии и минеральных ресурсов Мирового океана им. академика И.С. Грамберга»
Зелепукина Елена Сергеевна
кандидат географических наук, доцент кафедры Экологической безопасности телекоммуникаций ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. профессора М.А. Бонч-Бруевича»
- Ведущая организация:** Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Санкт-Петербургский Федеральный исследовательский центр Российской академии наук»

Защита диссертации состоится «__» _____ г. в _____ часов на заседании диссертационного совета Д 212.197.03 при ФГБОУ ВО «Российский государственный гидрометеорологический университет» по адресу: г. Санкт-Петербург, пр. Малоохтинский, д. 98, ауд. _____.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке и на сайте <http://www.rshu.ru/university/dissertations/> ФГБОУ ВО «Российский государственный гидрометеорологический университет».

Отзывы на автореферат в двух экземплярах, заверенные печатью организации, просим направлять по адресу: 192007, Россия, г. Санкт-Петербург, ул. Воронежская, д. 79, Российский государственный гидрометеорологический университет, Диссертационный совет Д 212.197.03, Ученому секретарю.

Автореферат разослан «__» _____ 2020 г.

Ученый секретарь диссертационного совета Д 212.197.03
канд. воен. наук, доцент



Соколов А.Г.

Общая характеристика работы

Актуальность исследования. Водные объекты фактически являются гидрологическими системами, они неразрывно связаны с водными ресурсами водосборов, и в свою очередь служат индикаторами состояния геосистем суши. Исходя из результатов современных наблюдений, можно сделать вывод, что первопричинами подавляющего большинства водных экологических кризисов чаще всего становятся процессы, происходящие в местах водосбора. К сожалению, в настоящее время данный фактор учитывается в крайне редких случаях, что в свою очередь значительно осложняет процесс установления первопричин и проведение аналитического исследования экологических изменений, прогнозирования отклика водных экосистем, реализацию природоохранных мероприятий, регулирование антропогенных воздействий на водные экосистемы.

В методическом отношении сложность ситуации обусловлена тем, что информацией, необходимой для этих целей, располагают различные ведомства. Поэтому сроки, районы, регулярность наблюдений, а также способы получения и обобщения данных чаще всего значительно различаются. До сих пор не существует единого принципа систематизации, наглядного представления и увязки многочисленных данных, собранных за многолетнюю историю мониторинговых исследований.

Согласно учебно-методическому пособию «Оценка и нормирование качества природных вод: критерии, методы, существующие проблемы» (Гагарина, 2012) «одной из главных причин ухудшения качества вод в последнее время признается несовершенство системы нормирования. В частности, в качестве критериев нормирования применяются одинаковые для всей территории России уровни предельно допустимой концентрации (далее – ПДК), которые зависят только от вида водопользования и не учитывают региональных особенностей формирования природных вод».

Российская Федерация характеризуется большим разнообразием различных условий, в том числе гидрологических и климатических, и это разнообразие влечет за собой различные типы природопользования, а также различия в интенсивности освоения.

Таким образом, анализ существующих оценок качества поверхностных вод по гидрохимическим показателям свидетельствует о том, что комплексная характеристика качества поверхностных вод представляет собой достаточно сложную проблему, по которой пока не найдено однозначного решения.

Каждый метод оценки качества воды имеет свои достоинства и недостатки, но предпочтительнее, чтобы гидрохимический и гидробиологический методы использовались в сочетании друг с другом (Кимстач, 1993).

Актуальность работы обусловлена необходимостью разработки методики оценки качества поверхностных вод суши на основе сочетанного применения гидрохимических и гидробиологических (эколого-токсикологических) показателей.

Цель исследования:

Разработка эколого-токсикологического подхода к комплексной оценке загрязненности поверхностных вод суши.

Задачи, которые были поставлены и решены для достижения указанной цели:

1. Сбор, обобщение и анализ данных литературы о токсичности катионов металлов, нитрит-ионов, нитрат-ионов, ионов аммония и органических соединений для *Daphnia magna*.

2. Разработка эмпирических линейно-экспоненциальных моделей, связывающих фактические концентрации индивидуальных вредных веществ в водных объектах с величинами рисков (вероятностей) комбинированного действия острых токсических эффектов для представительного вида гидробионтов (*Daphnia magna*) в широком диапазоне варьирования концентраций.

3. Обоснование методики расчетов рисков комбинированного действия совокупности вредных веществ для дафний.

4. Обоснование классификации качества вод пресноводных водных объектов по уровням их загрязненности вредными веществами на основе модели «разломанного стержня».

5. Разработка эколого-токсикологической методики комплексной оценки загрязненности поверхностных вод суши.

6. Оценка загрязненности водных объектов, имеющих различные характеристики.

Теоретико-методологической базой являлась разработка эколого-токсикологического подхода к комплексной оценке загрязненности вредными веществами поверхностных вод суши, опирающейся на совместном использовании гидрохимических и гидробиологических показателей.

Объектами исследования являются естественные и искусственные водоемы и водотоки.

Предметом исследования являются эколого-токсикологические характеристики поверхностных вод суши.

Методы исследования, которые были приняты за основы настоящей работы, представлены формулами, математическими моделями, статистическими расчетами.

Соответствие диссертации паспорту специальности. Тема диссертационной работы соответствует паспорту специальности 25.00.36 - «Геоэкология»:

п.1.7 Междисциплинарные аспекты стратегии выживания человечества, и разработка научных основ регулирования качества состояния окружающей среды;

п.1.12 Геоэкологический мониторинг и обеспечение экологической безопасности, средства контроля;

п.1.16 Геоэкологические аспекты устойчивого развития регионов.

Научная новизна:

1. Разработана эколого-токсикологическая методика комплексной оценки загрязненности поверхностных вод суши.

2. Выявлены статистически значимые зависимости между предельно допустимыми концентрациями вредных веществ для водных объектов, имеющих рыбохозяйственное значение, и средними летальными концентрациями для дафний при экспозиции 48 часов (LK_{50}^{48}).

3. Построены математические модели, связывающие величины рисков (вероятности) летальных исходов при воздействии 40 вредных веществ на дафний в широком диапазоне варьирования концентраций.

Теоретическая значимость исследования определяется разработкой эколого-токсикологического подхода к комплексной оценке загрязненности вредными

веществами поверхностных вод суши, опирающейся на совместном использовании гидрохимических и гидробиологических показателей.

Защищаемые положения:

1. Линейно-экспоненциальные модели концентрация вредного вещества – вероятность летального исхода при воздействии на дафнии.
2. Эколого-токсикологическая методика комплексной оценки загрязненности поверхностных вод суши.
3. Результаты комплексной оценки загрязненности водных объектов, расположенных в различных природно-климатических зонах.

Практическая значимость результатов диссертационной работы состоит в разработке методологии, позволяющей проводить комплексную оценку загрязненности поверхностных вод суши вредными неорганическими и органическими веществами без использования системы предельно допустимых концентраций (далее ПДК).

Степень достоверности полученных результатов и обоснованность научных выводов.

Достоверность научных положений и выводов обусловлена критическим анализом большого количества литературных источников и применением современных методов математико-статистической обработки данных.

Личный вклад соискателя заключается в участии в определении цели работы и постановке задач исследования, активном участии в обсуждении результатов диссертации, написании статей и тезисов докладов. Все основные результаты работы получены лично автором. Результаты, приведенные в данной диссертационной работе, неоднократно докладывались автором на российских и международных конференциях.

Апробация работы.

Результаты исследования докладывались и обсуждались на: Всероссийской научно-практической конференции «Современные проблемы гидрометеорологии и устойчивого развития Российской Федерации» 14-15 марта 2019 года; Всероссийской, с международным участием, научно-практической конференции «LXXII Герценовские чтения» 18-21 апреля 2019 года; III Всероссийской конференции «Гидрометеорология и экология: достижения и перспективы развития» 18-19 декабря 2019 г.; VIII Международной научно-практической конференции 28-29 октября 2019; Международной научно-практической конференции в Финляндии «Природное и культурное наследие, From small scales to large scales –The Gulf of Finland Science Days 2019. 13th-14th November 2019»; V Международной научной конференции «Арктика: история и современность» 18-19 марта 2020 г.; Международной научно-практической конференции «LXXIII Герценовские чтения» 22-25 апреля 2020 года; Международной научно-практической конференции «Современные проблемы гидрометеорологии и мониторинга окружающей среды на пространстве СНГ» 22-24 октября 2020 года.

Публикации. По теме диссертационного исследования опубликовано 17 научных работ. В изданиях, рекомендованных Высшей аттестационной комиссией Министерства науки и высшего образования Российской Федерации, опубликованы 4 статьи (Ученые записки РГГМУ, Труды Карельского научного центра РАН, Russian Journal of General Chemistry, IOP Conference Series Earth and Environmental Science).

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, 3-х глав, заключения, списка использованных источников. Общий объем – 146 страниц, в том числе 45 таблиц, 50 рисунков. Библиографический список включает 115 наименований, в том числе 11 иностранных.

Основное содержание работы

Введение содержит постановку задачи, обоснование актуальности решаемых задач и научную новизну предлагаемых методов решения, а также основные цели исследования.

Глава 1. Контроль качества поверхностных вод по гидрохимическим и гидробиологическим показателям в России и зарубежных странах

В главе рассматривается проблема обеспеченности жителей планеты Земля водой, сопряженной с загрязнением водных объектов. Рассматриваются области применения, такие как промышленная и хозяйственная. Приводятся статистические данные покрытия земного шара водными объектами. Рассматриваются нормативно-правовые документы, определяющие концепцию долгосрочного социально-экономического развития Российской Федерации и утверждающие основные цели в сфере природопользования. Приводятся статистические данные распределения по территории Российской Федерации водных ресурсов, а также ресурсного потенциала подземных вод исходя из данных приведенных в «Водной стратегии Российской Федерации на период до 2020 года», утвержденной распоряжением Правительства Российской Федерации от 27.08.2009 №1235-р (Распоряжение Правительства РФ от 27.08.2009 № 1235-р (ред. от 28.12.2010, 14.04.2012)). Производится оценка функционирующих водохозяйственных комплексов, а также сети гидрологических наблюдений, проводимых Федеральной службой по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды. Проводится анализ путей попадания вредных и загрязняющих веществ, поступающих в литосферу или атмосферу. Выполняется анализ и изучение различных процессов загрязнения водных объектов, благодаря которому устанавливаются следующие закономерности: водные объекты на территории Российской Федерации характеризуются неравномерностью загрязнения; большое влияние на загрязненность оказывают различные аварийные ситуации; наибольшее загрязнение водных объектов сопряжено с регулярным поступлением в них бытовых, промышленных и сельскохозяйственных сточных вод. Изучаются и систематизируются основные виды и источники загрязнений водных объектов. Дается определение понятию «загрязнение водных объектов», а также приводится подробная характеристика рассматриваемого процесса, сопряженная с изучением веществ, загрязняющих водные объекты, а также изучается влияние различных загрязняющих веществ на здоровье человека и живых организмов. Рассматриваются методы экологического мониторинга, а также порядок организации и проведения соответствующих наблюдений и правила контроля качества воды с учётом положений регламентирующих документов. Приводится классификация показателей качества вод по гидрохимическим показателям, в рамках которой выполняется задача по систематизации соответствующих методов и индексов, сопряженная с оценкой преимуществ и недостатков. Данная задача выполняется на основе изучения опыта

Российской Федерации и международного сообщества. Проводится классификация показателей качества вод по гидробиологическим показателям на основе изучения общепринятых методов, в том числе в мировой практике. Производится оценка гидробиологического состояния водотоков и водоемов.

Глава 2. Разработка эколого-токсикологического подхода к комплексной оценке уровней загрязненности водных объектов

В главе рассматривается методология эколого-токсикологических исследований, основанная на гипотезе о пропорциональности риска различных факторов окружающей среды концентрации вредного вещества. Постулируется, что вероятность неблагоприятных эффектов тем больше, чем больше продолжительность контакта вредного фактора с биологическим объектом.

Приводится вывод о необходимости определения осредненной фактической воздействующей концентрации и времени, в течение которого эта концентрация воздействовала на организм (Киселёв, Фридман, 1997). Оцениваются различные риски, которые непосредственно могут оказывать влияние на водные объекты.

Методика расчета риска (Risk) предполагает использование математических моделей.

В проведенном исследовании использована наиболее часто применяемая в токсикологический экспериментах для оценки риска здоровью населения линейно-экспоненциальная математическая модель вида (Жаворонкова Е.И, 2006):

$$\ln[-\ln(1 - \text{Risk})] = a + b \ln C \quad (1)$$

Размерность C – мг/дм³.

Методика определения констант a и b заключается в следующем. ЛК₁₆, ЛК₅₀ и ЛК₈₄ – летальные концентрации, приводящие к гибели 0,16 (Risk = 0,16), 0,50 (Risk = 0,50) и 0,84 (Risk = 0,84) подопытных тест объектов соответственно.

В качестве тест-объектов использована *Daphnia magna*. История применения методов биоиндикации в исследованиях водоёмов доказала, что лучшими «приборами», оценивающими качество воды, являются сами водные обитатели. Благодаря простоте, оперативности и доступности биотестирование получило широкое признание во всем мире (Дандамаев Д.К., Бекшоков К.С., 2018). Дафнии как универсальный тест-объект используются при установлении ПДК загрязняющих веществ в РФ.

Подставляя эти значения рисков и соответствующие им летальные концентрации в формулу (1), методом наименьших квадратов определяем константы a и b .

Таблица 1 – Оценка риска воздействия загрязняющих веществ на *Daphnia magna*

Острое токсическое действие на <i>Daphnia magna</i>					
Вещество	ЛК ₁₆	ЛК ₅₀	ЛК ₈₄	a	b
Hg ²⁺	0,0008	0,0015	0,03	2,623	0,547
Be ²⁺	0,65	5,1	18,5	-1,462	0,700
Cu ²⁺	0,006	0,02	0,07	3,223	0,956

Акрилонитрил	0,008	0,04	0,07	3,188	1,034
2,4-Динитрофенол	1,65	2,9	6,92	-2,365	1,597
Актелик	0,004	0,02	0,075	2,722	0,805
Рогор	0,0025	0,03	0,16	1,631	0,565

Заменяя коэффициент a в модели (1) на $a = \ln a'$, после несложных преобразований математическая модель (1) приводится к виду (2) (Жаворонкова Е.И., 2006; Мавляутинова Г.С., 2011):

$$\text{Risk} = 1 - \exp(-a'C^b) \quad (2)$$

Для иллюстрации этого утверждения была проведена обработка первичных данных, приведённых в различных литературных источниках. Из этих источников были заимствованы величины средних летальных концентраций 24 металлов (Be, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, Cd, Sn, Hg, Pb, Ba, Al, Ca, Mg, Li, Na, K, Rb, As, Sr, Cs, Te) для дафний при экспозиции 48 часов (LK_{50}^{48}).

Таблица 2 – Рыбохозяйственные ПДК (ПДК_{РХ}) и средние летальные концентрации металлов для дафний при экспозиции 48 часов (LK_{50}^{48})

Металл	ПДК _{РХ} , мг/дм ³	LK_{50}^{48} , мг/дм ³
Be (бериллий)	0,0003	0,023
Cr (хром)	0,02 (Cr ⁶⁺), 0,07 (Cr ³⁺)	0,13
Mn (марганец)	0,01	9,3
Fe (железо)	0,1	2,3
Co (кобальт)	0,01	0,71
Ni (никель)	0,01	0,65
Cu (медь)	0,001	0,013
Zn (цинк)	0,01	0,72
Cd (кадмий)	0,005	0,0036
Sn (олово)	0,112	6,2
Hg (ртуть)	0,00001	0,00065
Pb (свинец)	0,006	0,29
Ba (барий)	0,74	11
Al (алюминий)	0,04	3,9
Ca (кальций)	180	870
Mg (магний)	40	140
Li (литий)	0,08	6,3
Na (натрий)	120	1600
K (калий)	50	340
Rb (рубидий)	0,1	0,94
As (мышьяк)	0,05	2,4
Sr (стронций)	0,4	120
Cs (цезий)	1,0	5,8
Te (теллур)	0,003	1,2

Количественное соотношение между ПДК_{РХ} и ЛК₅₀⁴⁸ описывается следующим уравнением:

$$\ln\text{ПДК}_{\text{РХ}} = -3,41 + 1,004\ln\text{ЛК}_{50}^{48}, \quad (3)$$

где n – количество металлов, $n = 24$; r – коэффициент корреляции, $r = 0,91$; R^2 – коэффициент детерминации, $R^2 = 0,84$; $\sigma_{Y(X)}$ – стандартная ошибка, $\sigma_{Y(X)} = 1,69$; F_p/F_T – отношение расчётного значения критерия Фишера к табличному при уровне значимости 95%, $F_p/F_T = 26,1$.

Согласно шкале Чеддока (Макарова Н.В., Трофимец В.Я., 2002) величина $r = 0,91$ свидетельствует о «весьма высокой» тесноте связи между $\ln\text{ПДК}_{\text{РХ}}$ и $\ln\text{ЛК}_{50}^{48}$. Кроме того, математическая модель (3) адекватна ($F_p > F_T$) и может быть использована для предсказания ПДК_{РХ}, так как $F_p/F_T > 4$ (рисунок 1).

Следует, однако, признать, что точность предсказания сравнительно невелика (отклонение величин ПДК_{РХ} от прогнозных может варьироваться от 1,5 до 5). По данным различных авторов, пределы варьирования параметров острой токсичности от 2 до 5 раз. Это обусловлено: значительным интервалом варьирования величин ПДК_{РХ}, использованных при построении модели (4) (отношение ПДК_{РХ} для цинка и кобальта к ПДК_{РХ} для ртути составляет 1000); точностью определения параметров токсикометрии в лабораторных экспериментах (пределы варируемости параметров острой токсичности по данным различных авторов от 2 до 5 раз).

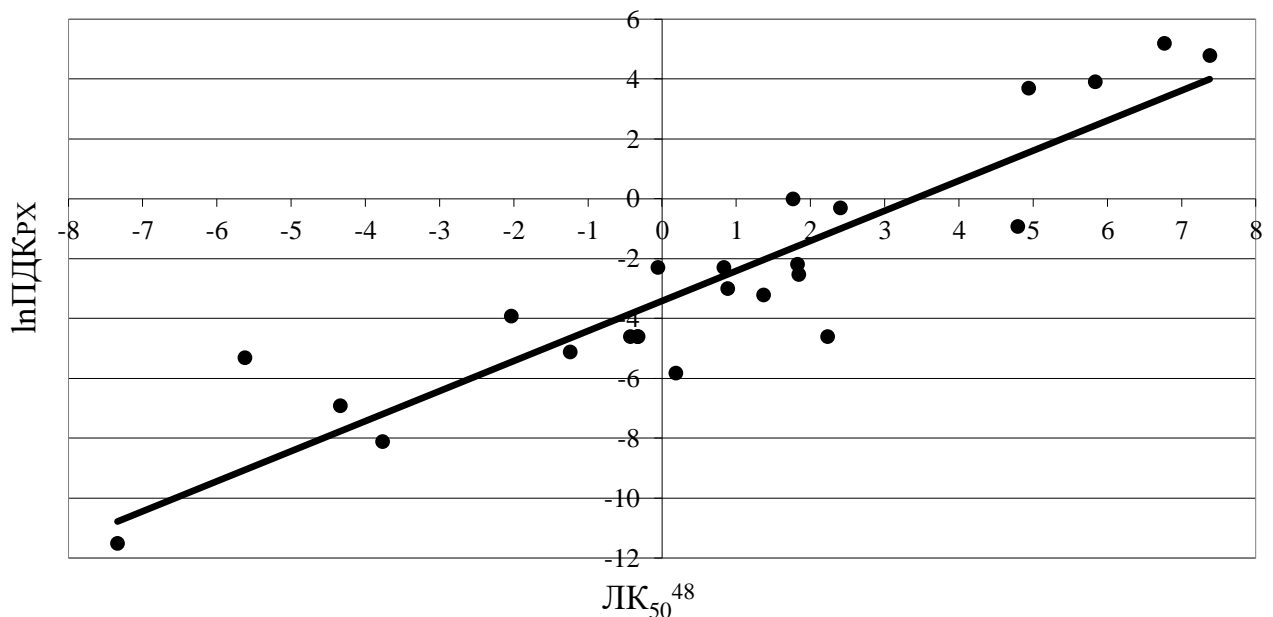


Рисунок 1 – Соотношение между ПДК для рыбохозяйственных водных объектов и средними летальными концентрациями металлов для дафний при 48-часовой экспозиции

Аналогичный приведенному выше результат был получен при сопоставлении величин ПДК_{РХ} и средних летальных концентраций некоторых органических соединений (формальдегид, бутанол, бензин, бензол, акрилонитрил), цианидами и нитрит-иона для дафний при 48-часовой экспозиции (таблица 3, рисунок 2).

Таблица 3 – Рыбохозяйственные ПДК (ПДК_{РХ}) и средние летальные концентрации органических соединений, цианидов и нитрит-ионами для дафний при экспозиции 48 часов (ЛК₅₀⁴⁸)

Вещество	ПДК _{РХ} , мг/дм ³	ЛК ₅₀ ⁴⁸ , мг/дм ³
Формальдегид	0,01	0,042
Бутанол	0,03	0,08
Цианиды	0,05	4,3
Нитрит-ионы	0,08	3,7
Бензин, керосин	0,05	2,28
Бензол	0,5	300
Акрилонитрил	0,01	0,04
Метанол	0,1	0,39

Соотношение между $\ln\text{ПДК}_{\text{РХ}}$ и $\ln\text{ЛК}_{50}^{48}$ описывается следующим уравнением:

$$\ln\text{ПДК}_{\text{РХ}} = -3,16 + 0,398\ln\text{ЛК}_{50}^{48}, \quad (4)$$

где $n = 8$; $r = 0,91$; $R^2 = 0,82$; $\sigma_{Y(X)} = 0,59$; $F_P/F_T = 4,9$.

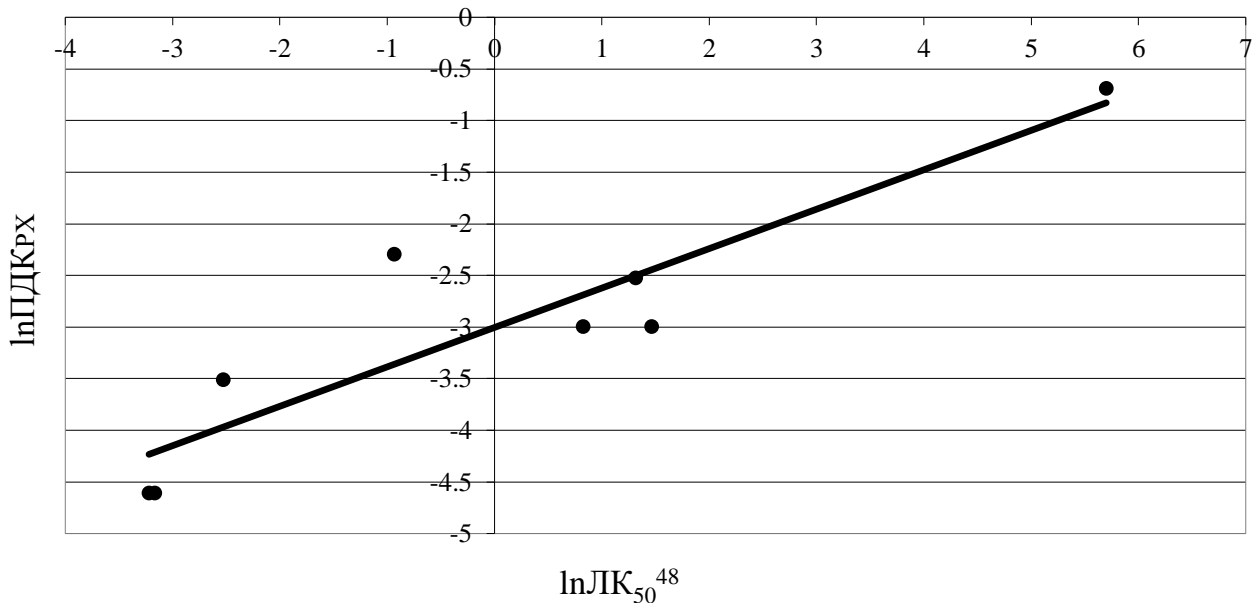


Рисунок 2 – Соотношение между ПДК для рыбохозяйственных водных объектов и средними летальными концентрациями органических соединений, цианидами и нитрит-ионами для дафний при 48-часовой экспозиции

Приведенный результат может служить основой для разработки экспресс-метода установления ПДК_{РХ} для водных объектов с учетом их региональных особенностей.

Основное внимание было сосредоточено на анализе данных о токсичности катионов металлов, нитрит-ионов и органических соединений для *Daphnia magna*.

Были построены эмпирические математические модели, связывающие величины рисков летальных исходов при воздействии катионов металлов на дафнии в широком

диапазоне варьирования концентраций (таблица 4) и органических соединений, нитрит-ионов и цианидов (таблица 5).

Таблица 4 – Математические модели для оценки рисков летальных исходов при воздействии катионов металлов на дафний

Вещество	Модель
Hg ²⁺	Risk = 1-exp(-13,777C ^{0,547})
Cu ²⁺	Risk = 1-exp(-25,103C ^{0,956})
Pb ²⁺	Risk = 1-exp(-0,2653C ^{1,1})
Cd ²⁺	Risk = 1-exp(-1880409C ^{4,6135})
Zn ²⁺	Risk = 1-exp(-2,02C ^{1,168})
Co ²⁺	Risk = 1-exp(-0,011C ^{1,36})
Fe ²⁺	Risk = 1-exp(-0,017C ^{1,319})
Mn ²⁺	Risk = 1-exp(-0,007C ^{1,489})
Be ²⁺	Risk = 1-exp(-0,2317C ^{0,6995})
Ni ²⁺	Risk = 1-exp(-0,078C ^{2,0861})
Хром Cr ⁶⁺	Risk = 1-exp(-0,000043358·C ^{16,284})
Таллий Tl ¹⁺	Risk = 1-exp(-0,0506·C ^{4,9322})

Примечание. С – концентрация катиона металла, мг/дм³

Таблица 5 – Математические модели для расчетов рисков летальных исходов при воздействии на дафний органических соединений, нитрит-ионов, нитрат-ионов, ионов аммония и цианидов

Вещество	Модель
Фенол	Risk = 1-exp(-0,0154C ^{1,2638})
Линдан	Risk = 1-exp(-2,6666C ^{0,7158})
Формальдегид	Risk = 1-exp(-12,3629C ^{0,8675})
Цианиды (CN ⁻)	Risk = 1-exp(-0,2203C ^{0,7861})
Нитрит-ион (NO ₂ ⁻)	Risk = 1-exp(-0,2861C ^{0,8125})
Нитрат-ион (NO ₃ ⁻)	Risk = 1-exp(-0,00186·C ^{0,8103})
Ион аммония (NH ₄ ⁺)	Risk = 1-exp(-0,000000105·C ^{5,5345})
Бензин, керосин	Risk = 1-exp(-0,3851C ^{0,7124})
Дизельное топливо	Risk = 1-exp(-1,4359C ^{0,614})
Машинное масло	Risk = 1-exp(-7121,7C ^{2,4915})
Сумицидин	Risk = 1-exp(-11353,7C ^{0,9824})
Бензол	Risk = 1-exp(-16094691C ^{1,9913})
Акрилонитрил	Risk = 1-exp(-24,2447C ^{1,0342})
2,4-ДНФ	Risk = 1-exp(-0,0939C ^{1,5965})

Актелик	$Risk = 1 - \exp(-15,2092C^{0,8045})$
Рогор	$Risk = 1 - \exp(-5,1085C^{0,5648})$
Метанол	$Risk = 1 - \exp(-98,1209C^{5,2599})$
н-Пропанол	$Risk = 1 - \exp(-106085C^{3,4045})$
н-Бутанол	$Risk = 1 - \exp(-1153,4C^{2,9366})$
Просульфурон	$Risk = 1 - \exp(-0,0038C^{1,6566})$
Пантера	$Risk = 1 - \exp(-0,00032C^{2,8026})$
Дибутилфталат	$Risk = 1 - \exp(-0,115 \cdot C^{1,3633})$
Пираклостробин	$Risk = 1 - \exp(-226387 \cdot C^{1,591})$
Трифлуксистробин	$Risk = 1 - \exp(-59516 \cdot C^{1,5757})$
Димоксистробин	$Risk = 1 - \exp(-6,2764 \cdot C^{0,5854})$
Флуоксистробин	$Risk = 1 - \exp(-38,206 \cdot C^{0,6963})$
Дихлорфос (ДДВФ)	$Risk = 1 - \exp(-1,894 \cdot C^{0,6011})$

Примечание. С – концентрация катиона металла, мг/дм³

Учитывая, что риск является вероятностной величиной, для определения риска комбинированного действия в соответствии с правилом умножения вероятностей, где в качестве сомножителей выступают не риски, а значения, характеризующие вероятности их отсутствия, было применено следующее уравнение:

$$Risk_{comb} = 1 - (1 - Risk_1)(1 - Risk_2)(1 - Risk_3)...(1 - Risk_n), \quad (5)$$

где $Risk_{comb}$ – риск комбинированного действия совокупности вредных веществ; $Risk_i$ – риск воздействия индивидуальных вредных веществ.

Величины $Risk_i$ и $Risk_{comb}$ варьируются в интервале 0-1. Чем больше величина $Risk_i$ или $Risk_{comb}$, тем выше уровень загрязненности воды вредными химическими веществами.

Для классификации качества вод использована модель «разломанного стержня» (таблица 6).

Таблица 6 – Классификация качества вод по величинам комбинированных рисков

Качество воды	Риск комбинированный, $Risk_{comb}$	Класс качества
Очень хорошее	0,00-0,04	I
Хорошее	0,04-0,09	II
Удовлетворительное	0,09-0,16	III
Плохое	0,16-0,26	IV
Очень плохое	0,26-1,00	V

В данной главе приведён, в частности, усовершенствованный подход к оценке загрязнённости вредными веществами поверхностных вод суши. Суть этого усовершенствованного подхода заключается в следующем. Предложена новая классификация качества вод, базирующаяся не на обратной шкале желательности Харрингтона, а на модели «разломанного стержня». Модель «разломанного стержня»

дает более «жесткую» оценку качества воды по сравнению с другими методами классификации, предъявляя более строгие требования к качеству поверхностных вод суши, что в свою очередь стимулирует сохранение и рациональное использование водных ресурсов. Количество эмпирических математических моделей значительно расширено. Существенным достоинством рассмотренного метода к оценке загрязнённости пресноводных водоёмов и водотоков приоритетными вредными неорганическими и органическими соединениями является то, что этот метод не использует систему общефедеральных ПДК.

Научная новизна рассмотренного эколого-токсикологического подхода заключается в совместном использовании гидрохимических и гидробиологических показателей, которые ранее использовались отдельно, в виде нового сочетания (новой математической модели).

Глава 3. Эколого-токсикологическая оценка загрязнённости некоторых водных объектов

Приведённый эколого-токсикологический подход к комплексной оценке загрязнённости водных объектов был применён для оценки уровней загрязнённости некоторых водоёмов и водотоков (рисунки 3-6, таблицы 7-21).

Вышеприведенный эколого-токсикологический подход к комплексной оценке загрязнённости водных объектов был применён для оценки уровней загрязнённости металлами озера Биенда-Стемме в весенний период за 2003-2019 гг. (таблица 7).

Таблица 7 – Динамика качества воды озера Биенда-Стемме в весенний период

Год	Риск комбинированный, Risk _{comb}	Качество воды
2003	0,06	хорошее
2004	0,05	хорошее
2007	0,03	очень хорошее
2008	0,04	очень хорошее
2009	0,03	очень хорошее
2010	0,03	очень хорошее
2011	0,04	очень хорошее
2012	0,04	очень хорошее
2013	0,07	хорошее
2014	0,05	хорошее
2015	0,05	хорошее
2017	0,10	удовлетворительное
2018	0,10	удовлетворительное
2019	0,02	очень хорошее

Как следует из данных, приведённых в таблице 7, в наибольшей степени тяжёлыми металлами загрязнены пробы воды, отобранные в 2017 г. и в 2018 г.

Основной негативный вклад в загрязнённость металлами озера Биенда-Стемме обусловлен соединениями меди, ртути и цинка.

Дополнительно к вышеизложенному был определен линейный тренд комбинированных рисков за период 2003-2019 гг. (рисунок 3).

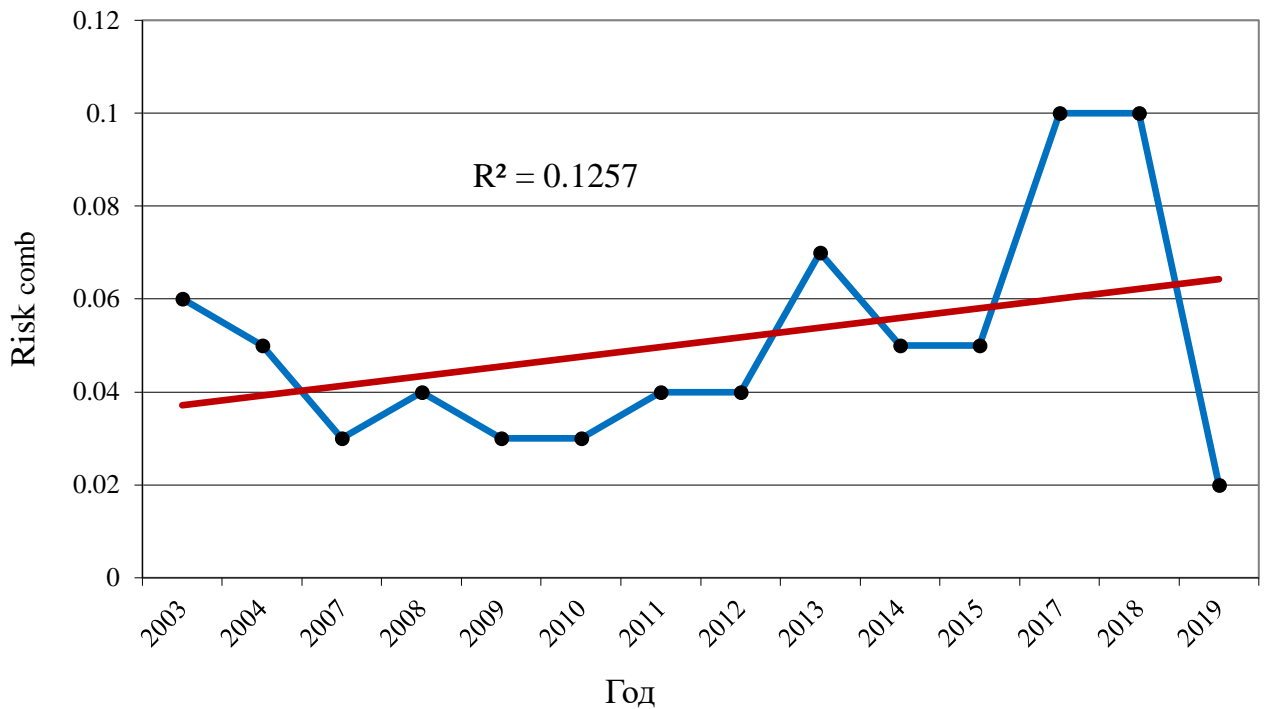


Рисунок 3 – Динамика качества воды озера Биенда-Стемме весной

Приведенному на рисунке 3 значению коэффициента детерминации $R^2 = 0,1257$ соответствует коэффициент корреляции $r = 0,35$. Согласно шкале Чеддока это свидетельствует об умеренном положительном тренде загрязнённости металлами вод озера Биенда-Стемме в весенний период.

Разработанный подход был применён для межгодовой оценки загрязнённости озера. Приведены результаты эколого-токсикологической оценки динамики загрязненности металлами (железом, марганцем, цинком, медью, никелем, кобальтом, свинцом, хромом, ртутью и кадмием) озера Биенда-Стемме, расположенного в Западном Шпицбергене, в весенний период 2003-2019 гг. Установлено, что качество воды озера Биенда-Стемме варьировало от «удовлетворительного» в 2017 г. и 2018 г. до «очень хорошего» в 2007 - 2012 гг. и 2019 г. В период 2003-2014 гг. и 2013-2015 гг. качество воды озера характеризовалось как «хорошее». В среднем за период 2003-2019 гг. качество воды озера весной характеризовалось как «хорошее». $Risk_{comb}=0,08$. Основной негативный вклад в загрязнённость металлами озера Биенда-Стемме обусловлен соединениями меди, ртути и цинка.

Вышеприведенный эколого-токсикологический подход к комплексной оценке загрязнённости водных объектов был применён для оценки уровней загрязнённости металлами озера Имандра в период с 1970 по 2018 гг. (таблицы 8, 9).

Таблица 8 – Концентрации катионов металлов в озере Имандра (мг/дм³)

Металл	В среднем по озеру	Зона влияния стоков апатитовой индустрии	Зона влияния стоков медно-никелевой индустрии	Зона влияния прямых стоков
Медь	$6,5 \cdot 10^{-3}$	$20 \cdot 10^{-3}$	$5 \cdot 10^{-3}$	$3,9 \cdot 10^{-3}$
Цинк	$6 \cdot 10^{-3}$	$5 \cdot 10^{-3}$	$7 \cdot 10^{-3}$	$6,5 \cdot 10^{-3}$
Железо	$22 \cdot 10^{-3}$	$47 \cdot 10^{-3}$	$19 \cdot 10^{-3}$	$26 \cdot 10^{-3}$
Марганец	$9,5 \cdot 10^{-3}$	$23 \cdot 10^{-3}$	$14 \cdot 10^{-3}$	$1,9 \cdot 10^{-3}$
Никель	$19,5 \cdot 10^{-3}$	$76 \cdot 10^{-3}$	$12 \cdot 10^{-3}$	$2,7 \cdot 10^{-3}$
Алюминий	$33 \cdot 10^{-3}$	$25 \cdot 10^{-3}$	$93 \cdot 10^{-3}$	$24 \cdot 10^{-3}$

Таблица 9 – Качество вод озера Имандра

Зоны влияния стоков	Risk _{comb}	Качество воды
В среднем по озеру	0,19	Плохое
Апатитовой индустрии	0,45	Очень плохое
Медно-никелевой индустрии	0,16	Плохое
Прямых стоков	0,12	Удовлетворительное

Разработанный эколого-токсикологический подход был использован для оценки межгодовой загрязнённости российской акватории Псковского озера в 2000 – 2018 гг.

Результаты расчётов риска комбинированного действия для дафний за указанный период представлены в таблице 10.

Таблица 10 – Динамика загрязнённости вод российской акватории Псковского озера

Год	Risk _{comb}	Качество воды
2000	0,22	плохое
2001	0,18	плохое
2002	0,17	плохое
2003	0,25	плохое
2004	0,26	плохое
2005	0,23	плохое
2006	0,18	плохое
2007	0,34	очень плохое
2008	0,36	очень плохое
2009	0,20	плохое
2010	0,22	плохое
2011	0,10	удовлетворительное
2012	0,13	удовлетворительное

2013	0,09	удовлетворительное
2014	0,12	удовлетворительное
2015	0,12	удовлетворительное
2016	0,14	удовлетворительное
2017	0,14	удовлетворительное
2018	0,11	удовлетворительное

Дополнительно к вышеизложенному был определен линейный тренд комбинированных рисков за период 2000-2018 гг. (рисунок 4). Для оценки трендов была использована шкала Чеддока.

Приведенному на рисунке 4 значению коэффициента детерминации $R^2 = 0,3081$ соответствует коэффициент корреляции $r = 0,56$. Согласно шкале Чеддока это свидетельствует о «заметном отрицательном» тренде качества воды для российской акватории Псковского озера.

Обобщая вышеизложенное, приходим к выводу, что за период 2000-2018 гг. качество воды российской акватории Псковского озера существенно улучшилось от «очень плохого» в 2007-2008 гг., «плохого» в 2000-2006 гг. и в 2009-2010 гг. до «удовлетворительного» в 2011-2018 гг. Наибольший вклад в загрязнённость Псковского озера оказывают соединения меди, нефтепродукты и нитрит-ионы.

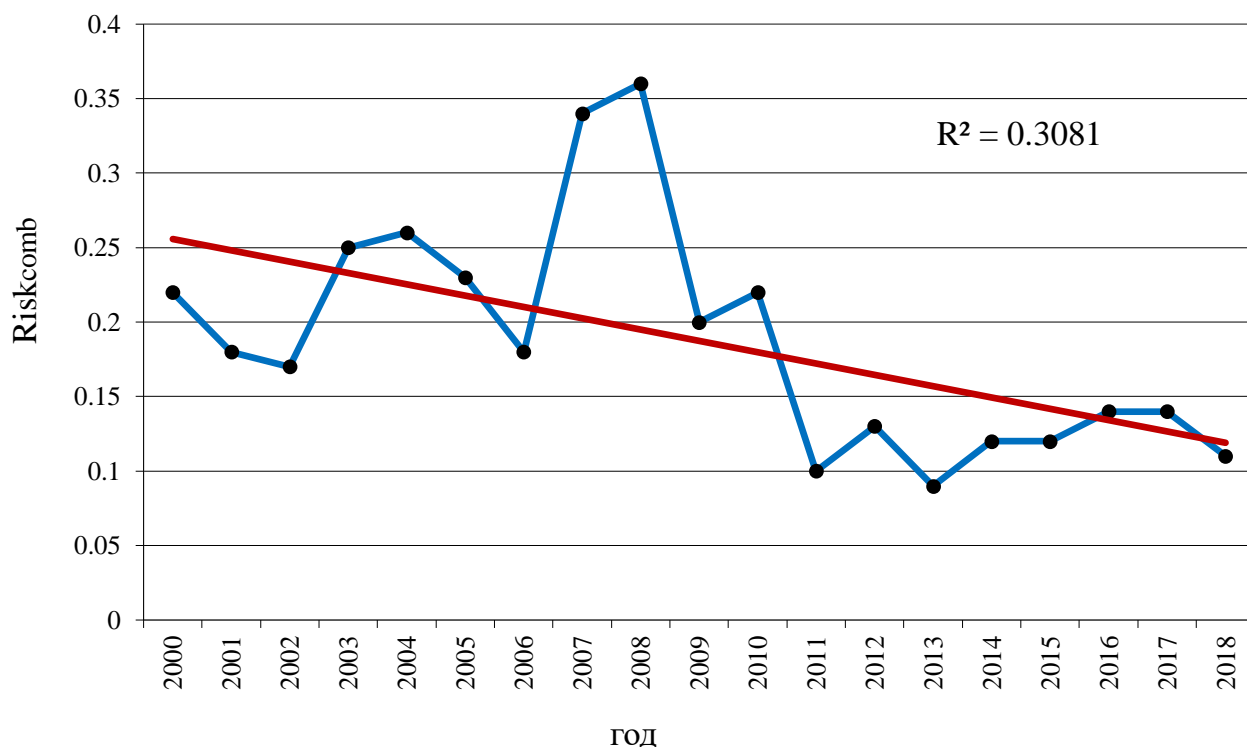


Рисунок 4 – Динамика качества воды российской акватории Псковского озера

Проведён анализ концентрации загрязняющих веществ в Нарвском водохранилище за период 2011-2018 гг. для трёх створов (таблица 11): центральная часть водохранилища (НВ 2); речная часть водохранилища, ниже сбросного канала Эстонской ГРЭС (НВ 4); напротив устья р. Плюсы (НВ 5).

Таблица 11 – Концентрации загрязняющих веществ в Нарвском водохранилище, мг/дм³ (средние величины за период 2011-2018 гг.)

Вещество	НВ-2	НВ-4	НВ-5
Медь	0,0012	0,00167	0,0018
Свинец	4,4E-05	0,0014	-
Цинк	0,0063	-	-
Железо	0,126	0,151	0,416
Марганец	0,051	0,062	0,057
Никель	0,0011	0,0012	-
Фенол	0,00345	0,00089	0,0009
Нефтепродукты	0,033	0,042	0,036
Нитрит-ион	0,038	0,038	0,041
Нитрат-ион	0,279	0,434	0,487
Аммоний	0,045	0,046	0,061

Результаты оценки качества вод Нарвского водохранилища в таблице 12.

Таблица 12 – Качество вод Нарвского водохранилища

Станция	Риск комбинированный, Risk _{comb}	Качество воды
НВ 2	0,10	удовлетворительное
НВ 4	0,11	удовлетворительное
НВ 5	0,12	удовлетворительное

Как следует из таблицы 12, по усреднённым за период 2011-2018 гг. данным гидрохимического мониторинга качество воды трёх рассмотренных станций Нарвского водохранилища характеризуется как «удовлетворительное».

Проведена эколого-токсикологическая оценка загрязненности вод реки Великая. Результаты оценки качества воды реки Великая приведены в таблице 13.

Таблица 13 – Динамика качества воды реки Великая

Год	Риск комбинированный, Risk _{comb}	Качество воды
2002	0,22	плохое
2003	0,20	плохое
2004	0,24	плохое
2005	0,27	очень плохое
2006	0,23	плохое
2007	0,31	очень плохое
2008	0,36	очень плохое

2009	0,15	удовлетворительное
2010	0,15	удовлетворительное
2011	0,12	удовлетворительное
2012	0,16	удовлетворительное
2013	0,12	удовлетворительное
2014	0,12	удовлетворительное
2015	0,14	удовлетворительное
2016	0,13	удовлетворительное
2017	0,14	удовлетворительное

Данные, приведенные в таблице 13, свидетельствуют о том, что качество воды реки Великая варьировало в широких пределах от «очень плохого» в 2005, 2007 и 2008 гг. до «удовлетворительного» в период от 2009-2017 гг.

Дополнительно к вышеизложенному был определен линейный тренд комбинированных рисков за период 2002-2017 гг. (рисунок 5). Для оценки трендов была использована шкала Чеддока.

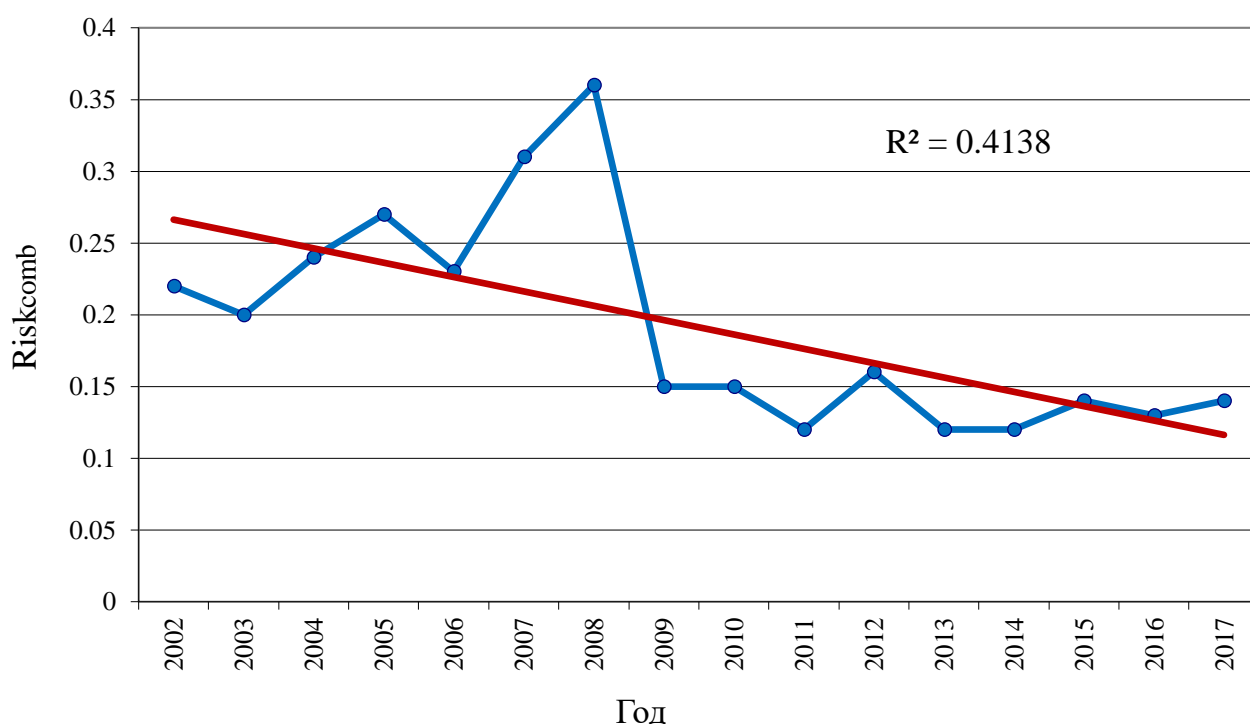


Рисунок 5 – Динамика качества воды реки Великая

Приведенному на рисунке 5 значению коэффициента детерминации $R^2 = 0,4138$ соответствует коэффициент корреляции $r = 0,64$. Согласно шкале Чеддока это свидетельствует о «заметном отрицательном» тренде загрязненности воды реки Великая в период с 2002 г. по 2017 г., что свидетельствует об улучшении качества воды.

Проведена эколого-токсикологическая оценка загрязненности вод некоторых водотоков бассейна реки Нарва. Для оценки качества воды в 2018 г. были использованы концентрации следующих гидрохимических показателей: аммония,

нитритов, нитратов, нефтепродуктов, свинца, меди, кадмия, цинка, никеля, марганца и свинца. Результаты оценки качества вод приведены в таблице 14.

Таблица 14 – Качество воды некоторых водотоков бассейна реки Нарва в 2018 г.

Водоток	Риск комбинированный, Risk _{comb}	Качество воды
Пиуза (д. Городище)	0,19	Плохое
Плюсса (г. Сланцы)	0,15	Удовлетворительное
Лжа (д. Столбово)	0,13	Удовлетворительное
Желча (д. Низовицы)	0,13	Удовлетворительное
Синяя (д. Мозули)	0,13	Удовлетворительное
Черма	0,12	Удовлетворительное
Утроя (д. Поташа)	0,12	Удовлетворительное
Вяда (д. Ручьи)	0,12	Удовлетворительное
Гдовка (г. Гдов)	0,11	Удовлетворительное

Как следует из данных, приведенных в таблице 14, в 2018 г. качество воды реки Пиуза характеризовалось как «плохое», а для остальных рек – как «удовлетворительное».

Проведена эколого-токсикологическая оценка загрязненности металлами вод Невской губы. Результаты расчетов риска комбинированного действия катионов металлов для дафний и динамика качества воды всей акватории Невской губы представлены в таблице 15.

Таблица 15 – Межгодовая динамика загрязненности металлами всей акватории Невской губы

Год	Risk _i				Risk _{comb}	Качество воды
	Pb	Cu	Zn	Mn		
2008	0,00	0,12	0,01	0,00	0,13	удовлетворительное
2009	0,00	0,11	0,02	0,00	0,13	удовлетворительное
2010	0,00	0,12	0,02	0,00	0,14	удовлетворительное
2011	0,00	0,12	0,02	0,00	0,14	удовлетворительное
2012	0,00	0,11	0,02	0,00	0,13	удовлетворительное
2013	0,00	0,11	0,01	0,00	0,12	удовлетворительное
2014	0,00	0,11	0,01	0,00	0,12	удовлетворительное
2015	0,00	0,13	0,01	0,00	0,14	удовлетворительное
2016	0,00	0,14	0,02	0,00	0,16	удовлетворительное
2017	0,00	0,11	0,01	0,00	0,12	удовлетворительное
2018	0,00	0,15	0,03	0,00	0,18	плохое

Как следует из данных, приведенных в таблице 15, с 2008 г. по 2017 г. качество вод всей акватории Невской губы характеризуется как «удовлетворительное», а в 2018 г. – как «плохое». Основной негативный вклад в загрязненность вод акватории Невской губы металлами обусловлен соединениями меди.

Результаты расчетов, приведенные в таблице 15, были представлены в графической форме (рисунок 6).

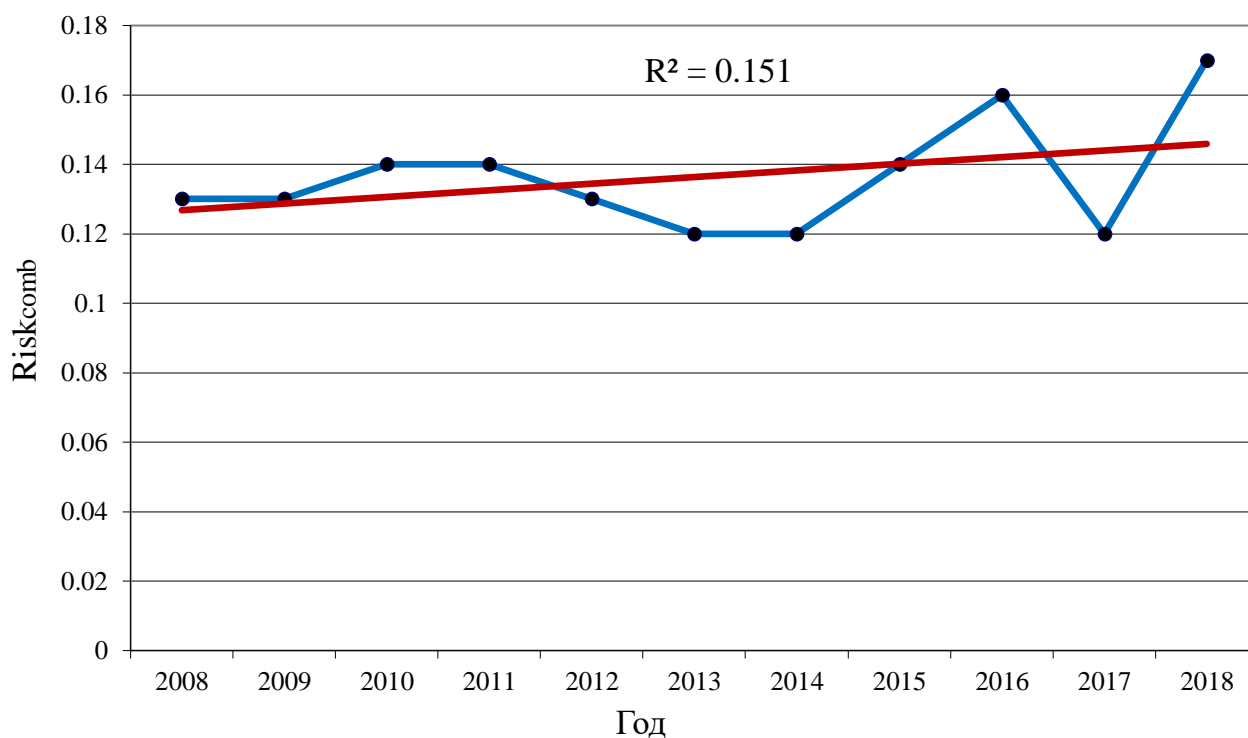


Рисунок 6 – Межгодовая динамика загрязненности металлами всей акватории Невской губы для столба воды поверхность – дно

Приведенному на рисунке 6 значению коэффициента детерминации $R^2 = 0,151$ соответствует коэффициент корреляции $r = 0,39$. Согласно шкале Чеддока это свидетельствует об умеренном положительном тренде загрязненности металлами всей акватории Невской губы.

Дана эколого-токсикологическая оценка загрязненности металлами вод реки Большая Нева за период 2000-2018 годы в восьми створах реки Большая Нева (таблица 16).

Таблица 16 – Пункты наблюдений и створы реки Большая Нева

Пункт наблюдений	№ пункта	№ створа
г. Кировск, выше города	29160	1
г. Кировск, ниже города	29160	2
г. Санкт-Петербург; 0,5 км ниже впадения р. Тосна	29161	1
г. Санкт-Петербург; 0,5 км ниже впадения р. Ижора	29161	2
г. Санкт-Петербург; 0,5 км ниже впадения р. Славянка	29161	3

г. Санкт-Петербург; 0,5 км ниже впадения р. Охта	29161	4
г. Санкт-Петербург; 0,1 км выше Литейного моста	29161	5
г. Санкт-Петербург; 1,4 км выше устья	29161	6

Общий анализ данных для наглядности сведён в таблицу 17, что в свою очередь позволило выявить динамику тренда загрязнённости металлами вод реки Большая Нева.

Таблица 17 – Загрязнённость вод реки Большая Нева (средние значения за период 2000–2018 гг.)

Пункт/ створ	Риск комбинированный, Risk _{comb}	Коэффициент детерминации, R ²	Коэффициент корреляции, r	Характеристика тренда
29160/1	0,18 (0,10÷0,30)	0,2842	0,53	заметный отрицательный
29160/2	0,15 (0,07÷0,25)	0,3375	0,58	заметный отрицательный
29161/1	0,17 (0,08÷0,30)	0,4579	0,68	заметный отрицательный
29161/ 2	0,16 (0,07÷0,30)	0,3187	0,56	заметный отрицательный
29161/3	0,16 (0,09÷0,28)	0,2629	0,51	заметный отрицательный
29161/4	0,17 (0,09÷0,28)	0,356	0,60	заметный отрицательный
29161/5	0,15 (0,12÷0,18)	0,4334	0,66	заметный отрицательный
29161/6	0,14 (0,07÷0,22)	0,2151	0,46	умеренный отрицательный

Как следует из данных, приведённых в таблице 17, в наибольшей степени тяжёлыми металлами загрязнены пробы воды, отобранные выше г. Кировск (пункт 29160, створ 1). Наибольший вклад в загрязнённость реки Большая Нева оказывают соединения меди и цинка.

Из таблицы 17 видно, что за весь период наблюдений для всех рассмотренных створов р. Большая Нева характерен отрицательный тренд комбинированных рисков, что свидетельствует об уменьшении концентраций тяжёлых металлов с 2000 г. по 2018 г.

Проведена эколого-токсикологическая оценка загрязнённости металлами вод реки Вуокса в четырех створов реки Вуокса по усредненным данным за период 2014–2019 гг. (таблица 18). При расчетах использованы концентрации железа, меди, свинца, кадмия и марганца.

Таблица 18 – Качество вод реки Вуокса

Створ	Риск комбинированный, Risk _{comb}	Качество вод
пгт Лесогорский, створ 1	0,10	удовлетворительное
пгт Лесогорский, створ 2	0,09	удовлетворительное
г. Каменногорск	0,09	удовлетворительное
г. Приозерск	0,10	удовлетворительное

Как следует из данных, приведенных в таблице 18, в среднем за период 2014-2019 гг. качество воды каждого из четырех рассмотренных створов реки Вуокса по содержанию тяжелых металлов характеризуется как «удовлетворительное».

Проведена эколого-токсикологическая оценка загрязненности металлами вод некоторых малых озер восточного Сихотэ-Алиня. Ряд небольших озёр восточного Сихотэ-Алиня, по которым проводилось исследование, расположены вблизи побережья Японского моря в районе городов Дальнегорск и Терний.

При расчетах использованы данные о концентрациях растворенных металлов (медь, железо, никель, марганец, цинк, кадмий, свинец) (таблица 19). Качество вод озер восточного Сихотэ-Алиня в указанный выше период характеризуется как очень хорошее.

Таблица 19 – Качество вод озер восточного Сихотэ-Алиня в летний период

Озера	Риск комбинированный, Risk _{comb}	Качество воды
Васьковское (2011-2014)	0,01	очень хорошее
Круглое (2011-2013)	0,01	очень хорошее
Голубичное (2011-2014)	0,01	очень хорошее
Японское (2012-2013)	0,01	очень хорошее
Мраморное (2011-2013)	0,02	очень хорошее
Духовское (2011-2013)	0,01	очень хорошее
Благодати (2011-2014)	0,01	очень хорошее

Проведена эколого-токсикологическая оценка загрязненности вредными веществами вод полигона «Красный Бор».

Проведёт расчёт потенциальной опасности вредных веществ (ртуть, медь, свинец, кадмий, никель, железо, хром, фенол, ион аммония) в картах №64 и №68 и расчёт потенциальной опасности вредных веществ (ртуть, кадмий, никель, фенол, нефтепродукты, дибутилфталат), содержащихся в воде дренажной канавы вокруг полигона и концентрации вредных веществ (ртуть, железо, марганец, никель, свинец, медь, цинк, кобальт), содержащихся в магистральном канале.

Результаты расчетов риска комбинированного действия вредных веществ для дафний и качество вод рассмотренных объектов представлены в таблице 20.

Таблица 20 – Уровни загрязненности металлами карт, внутреннего и кольцевого каналов полигона «Красный Бор»

Объект	Риск комбинированный, $Risk_{comb}$	Качество воды	Класс качества
Карта №64	1,00	очень плохое	V
Карта №68	0,98	очень плохое	V
Магистральный канал	0,55	очень плохое	V
Дренажная канава	0,44	очень плохое	V

Как следует из таблицы 20, по величинам комбинированных рисков, комплексно учитывающих содержание вредных веществ, качество воды рассмотренных объектов характеризуется как «очень плохое».

Проведена эколого-токсикологическая оценка загрязнённости металлами поверхностных вод некоторых заповедников РФ ртутью, свинцом и кадмием (таблица 21).

Таблица 21 – Загрязненности металлами поверхностных вод некоторых заповедников Российской Федерации в 2018 г.

Заповедник	$Risk_{comb}$	Качество воды	Класс качества
Кавказский БЗ	0,16	удовлетворительное	III
Приокско-Тerrasный БЗ	0,11	удовлетворительное	III
Баргузинский БЗ	0,27	очень плохое	V
Астраханский БЗ	0,12	удовлетворительное	III
Воронежский БЗ	0,07	хорошее	II
Яйлю	0,06	хорошее	II
Смоленское Поозерье	0,13	удовлетворительное	III
Байкальский БЗ	0,78	очень плохое	V
Волжско-Камский БЗ	0,02	очень хорошее	I
Центрально-Лесной БЗ	0,12	удовлетворительное	III
Кавказский БЗ	0,87	очень плохое	V
Приокско-Тerrasный БЗ	1,00	очень плохое	V

Как следует из данных, приведенных в таблице 21, загрязненность металлами поверхностных вод рассмотренных заповедников существенно варьирует от I до V классов качества. Обращает на себя внимание чрезвычайно высокий уровень загрязненности тяжелыми металлами поверхностных вод Баргузинского, Байкальского, Кавказского и Приокско-Тerrasного биосферных заповедников.

Выводы

1. Эколого-токсикологический подход к комплексной оценке загрязненности поверхностных вод суши является эффективным методом изучения водных объектов, различных по своим характеристикам.

2. Разработаны эмпирические линейно-экспоненциальные модели, связывающие фактические концентрации 40 индивидуальных загрязняющих веществ с величинами рисков (вероятностей) комбинированного действия острых токсических эффектов для представительного вида гидробионтов (*Daphnia magna*) в широком диапазоне варьирования концентраций.

3. Установлены статистически значимые соотношения между предельно допустимыми концентрациями (ПДК) металлов, органических соединений и средними летальными концентрациями для дафний при экспозиции 48 часов (ЛК₅₀⁴⁸).

4. Обоснована методика расчетов рисков комбинированного действия совокупности вредных веществ для дафний (Risk_{comb}).

5. Обоснована классификация качества вод некоторых пресноводных водных объектов по уровням их загрязненности вредными веществами на основе модели «разломанного стержня». При Risk_{comb} = 0,00-0,04 качество воды характеризуется как «очень хорошее», при Risk_{comb} = 0,04-0,09 – как «хорошее», при Risk_{comb} = 0,09-0,16 – как «удовлетворительное», при Risk_{comb} = 0,16-0,26 – как «плохое» и при Risk_{comb} = 0,26-1,00 – как «очень плохое».

6. Разработана эколого-токсикологическая методика комплексной оценки загрязненности поверхностных вод суши, совместно использующая гидрохимические и гидробиологические показатели, которые ранее использовались отдельно, в виде нового сочетания (новой математической модели).

7. Проведена оценка качества вод (Risk_{comb}) некоторых водных объектов (озеро Биенда-Стемме, озеро Имандра, Псковское озеро, река Большая Нева, Невская губа, река Великая, река Вуокса, некоторых малых озёр восточного Сикотэ-Алиня, некоторых заповедников Российской Федерации).

8. Выявлен «умеренный положительный» тренд загрязненности вод озера Биенда-Стемме (2003-2019 гг.) и вод Невской губы (2008-2018 гг.). Выявлен «заметный отрицательный» тренд загрязненности вод российской акватории Псковского озера (2008-2018 гг.), реки Великая (2002-2017 гг.) и реки Большая Нева (2008-2018 гг.)

9. Качество сточных вод необезвреженных отходов на полигоне «Красный Бор» (карты №64 – Risk_{comb} = 1,00 и №68 - Risk_{comb} = 0,98, магистральный канал - Risk_{comb} = 0,55, дренажная канава - Risk_{comb} = 0,44) характеризуется как «очень плохое».

Список публикаций по теме диссертации

В изданиях, рекомендованных ВАК РФ:

1. Фрумин Г.Т., Малышева Н.А. Динамика загрязнённости тяжёлыми металлами реки Большая Нева. Учёные записки РГГМУ. – СПб.: РГГМУ, 2019. – № 57. – С.117-125.
2. Frumin G.T., Malysheva N.A. Toxicity of Metal Cations for Daphnia / Russian Journal of General Chemistry. – Pleiades Publishing, Ltd.: 2019. – Vol. 89. – No. 13. – P. 2835-2839.
3. Фрумин Г.Т., Малышева Н.А. Динамика качества воды Псковского озера (2000-2018). Труды Карельского научного центра РАН. – Петрозаводск: Карел. Науч. центр РАН, 2020. – №4. – С. 32-39.
4. Frumin G.T., Demeshkin A.S., Obiazov V.A., Malysheva N.A., Paranina A.H. Ecological and toxicological assessment of heavy metal pollution of the Bienda-Stemme Lake (West Spitsbergen). IOP Conference Series Earth and Environmental Science. – GB: Pleiades Publishing, 2020. – P.1-6.

Материалы и тезисы докладов конференций:

5. Фрумин Г.Т., Малышева Н.А. Оценка токсичности необезвреженных отходов на полигоне Красный Бор / Коллективная монография по материалам Всероссийской научно-практической конференции «Современные проблемы гидрометеорологии и устойчивого развития Российской Федерации» 14-15 марта 2019 года. Том I. СПб.: РГГМУ, 2019. – С. 425-427.
6. Фрумин Г.Т., Малышева Н.А. Загрязнённость тяжёлыми металлами водотоков бассейна реки Нарвы / Коллективная монография по материалам Всероссийской, с международным участием, научно-практической конференции LXXII Герценовские чтения. 18-21 апреля 2019 года. Том II. – СПб.: РГПУ им. А.И. Герцена, 2019. – С. 210-213.
7. Фрумин Г.Т., Малышева Н.А. Токсичность катионов металлов для дафний. Экологическая химия. – СПб.: Изд-во ООО Теза, 2019. – 28(5). – С. 250-257.
8. Фрумин Г.Т., Малышева Н.А. Динамика загрязнённости металлами Невской губы. Инновационные процессы в обществе, науке и образовании: монография / Под общ. ред. Г. Ю. Гуляева – Пенза: МЦНС Наука и Просвещение, 2019. – С. 76-85.
9. Малышева Н.А., Фрумин Г.Т. Эколого-токсикологическая оценка загрязненности вредными веществами полигона «Красный Бор». Высшая школа: научные исследования. Материалы Межвузовского научного конгресса (г. Москва, 27 сентября 2019 г.). – Москва: Изд-во Инфинити, 2019. – С. 180-189.
10. Фрумин Г.Т., Малышева Н.А. Эколого-токсикологический подход к комплексной оценке поверхностных вод суши / Коллективная монография. Труды III Всероссийской конференции «Гидрометеорология и экология: достижения и перспективы развития». 18-19 декабря 2019 г. – СПб.: Химиздат, 2019. – С. 894-898.
11. Малышева Н.А. Фрумин Г.Т. Качество воды Нарвского водохранилища. Природное и культурное наследие: междисциплинарные исследования, сохранение и развитие / Коллективная монография по материалам VIII

- международной научно-практической конференции 28-29 октября 2019. – СПб.: Изд-во РГПУ им. А. И. Герцена, 2019. – С. 448-451.
12. Малышева Н.А., Фрумин Г.Т. Эколого-токсикологическая оценка загрязнённости металлами озера Имандра / Геология, Геоэкология, Эволюционная география: Коллективная монография. Том XVIII. – СПб.: РГПУ, 2019. – С. 207-210.
 13. Фрумин Г.Т., Малышева Н.А. Эколого-токсикологический подход к комплексной оценке уровней загрязнённости водных объектов / Коллективная монография «Современные географические и междисциплинарные исследования». – СПб.: РГПУ им. А.И. Герцена, 2019. – С. 56-72.
 14. Grigory Frumin, Natalia Malysheva. Dynamics pollution by metals of the Neva Bay / From small scales to large scales –The Gulf of Finland Science Days 2019. 13th-14th November 2019. The House of Estates. – Helsinki, 2019. – P.17.
 15. Фрумин Г.Т., Малышева Н.А. Ecological and toxicological assessment of heavy metal pollution of the Bienda-Stemme Lake (West Spitsbergen) / Коллективная монография по материалам V Международной научной конференции «Арктика: история и современность». Санкт-Петербургский Политехнический университет Петра Великого. 18-19 марта 2020 г. – СПб.: Изд-во Политех, 2020.
 16. Малышева Н.А., Фрумин Г.Т. Эколого-токсикологическая оценка загрязнённости металлами реки Вуокса / География: развитие науки и образования. Том II. Коллективная монография по материалам ежегодной международной научно-практической конференции LXXIII Герценовские чтения. Санкт-Петербург, РГПУ им. А. И. Герцена. 22-25 апреля 2020 года. СПб.: Астерион, Изд-во РГПУ им. А. И. Герцена, 2020. – С. 88-91.
 17. Малышева Н.А., Фрумин Г.Т. Оценка загрязнённости поверхностных вод заповедников / Тезисы докладов ежегодной международной научно-практической конференции «Современные проблемы гидрометеорологии и мониторинга окружающей среды на пространстве СНГ». Санкт-Петербург, РГГМУ. 22-24 октября 2020 года. – СПб.: РГГМУ, 2020. – С. 526-528.