

На правах рукописи

Юшкова Ольга Викторовна



**КОМПЛЕКСНАЯ ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ ОКРУЖАЮЩЕЙ  
СРЕДЫ ПО ПАРАМЕТРАМ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ  
ПАРАЗИТАРНОЙ СИСТЕМЫ**

**Специальность 25.00.36 – Геоэкология по техническим наукам**

**АВТОРЕФЕРАТ**  
**диссертации на соискание ученой степени**  
**кандидата технических наук**

1 5 116 0 0000

**Санкт-Петербург – 2008**

Работа выполнена на кафедре медико-технических систем и безопасности жизнедеятельности Северо-Западного государственного заочного технического университета

Научный руководитель                      заслуженный деятель науки и техники РФ,  
доктор биологических наук, профессор  
Гуткин Владимир Ильич

Официальные оппоненты                      доктор технических наук, профессор  
Алексеев Алексей Иванович,  
кандидат биологических наук  
Волцит Ольга Викторовна

Ведущая организация                      ЗАО «Экологический институт» МАНЭБ

Защита состоится 25 ноября 2008 г. в 14 часов на заседании диссертационного совета Д 212.244.01 при Северо-Западном государственном заочном техническом университете по адресу: 191186, Санкт-Петербург, ул. Миллионная, д. 5.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Северо-Западного государственного заочного технического университета.

Автореферат разослан 23 октября 2008 г.

Ученый секретарь  
Диссертационного совета



Иванова И.В.

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность работы.** Для любого промышленного центра, а в частности Санкт-Петербурга, основной экологической проблемой является загрязнение атмосферного воздуха. Функционирование транспорта и стационарных источников сопровождается выбросом в атмосферу города широкого спектра загрязняющих веществ, как в твердом, так и в газообразном и жидком состоянии. Большая часть загрязняющих веществ из атмосферного воздуха оседает на почву и в воду. Наибольшее и самое долговременное загрязнение территории зависит от накопления тяжелых металлов и нефтепродуктов. Одной из главных причин обуславливающих факторы антропогенной нагрузки являются автодороги. На территориях расположенных вдоль автодорожного полотна, отмечается наиболее выраженная деградация экосистем в результате загрязнения атмосферного воздуха, воды и почвы.

Актуальность темы диссертационной работы обусловлена тем, что основная часть мониторинговых исследований природной среды проводится на территориях городской застройки и прилегающих к городу населенных пунктов, анализ техногенного воздействия на лесные экосистемы осуществляется значительно реже. Как правило, такие наблюдения ведутся только в парковой рекреационной зоне и на территориях массового отдыха населения (базах отдыха, санаториях и т.п.). Кроме того, оценка экологического состояния таких систем в основном связана с определением загрязнения почв и состоянием древостоя.

Существующая в настоящее время в России сеть пунктов режимных наблюдений загрязнения не включает наблюдение за биологическими объектами – маркерами состояния загрязнения окружающей среды. Поэтому актуальной задачей является применение комплексного подхода к оценке экологической ситуации на исследуемой территории, для определения значимости влияния антропогенных факторов и прогноза геоэкологической и санитарно-эпидемиологической ситуации на данной территории.

Практически не изучены механизмы воздействия антропогенного пресса на биологию кровососущих членистоногих и на их функционирование как переносчиков болезней человека и сельскохозяйственных животных. Основная часть мониторинговых исследований окружающей среды, проводимых методами биоиндикации, связаны с изучением динамики загрязнения водной среды. Значительно меньше сведений по использованию таких методов для исследования динамики состояния почвообитающих организмов. И, наконец, обнаруженные в доступной литературе работы никак не затрагивают сферу деятельности эпидемиологов и работников ветеринарной службы. Это обуславливает актуальность и увеличивает значимость изучения клещевых популяций на территориях с сильным антропогенным прессом, одной из которых является крупный мегаполис Санкт-Петербург и его окрестности.

**Объектом исследования** является паразитарная система «клещ—клещевые патогены» Санкт-Петербургской популяции таежного клеща *Ixodes persulcatus* и территория их обитания в рекреационной зоне в районе Северной станции аэрации.

**Основная идея работы** заключается в том, что исследование параметров функционирования паразитарной системы может быть использована как индикатор экологического состояния окружающей среды и для оценки эпидемиологической ситуации на исследуемой территории.

**Цель диссертации** заключается в комплексной оценке антропогенного воздействия на экологическое состояние территории функционирования паразитарной системы.

В соответствии с поставленной целью необходимо решить следующие задачи:

1. Выделить значимые антропогенные факторы, меняющие поведение клещей и функционирование паразитарной системы.

2. Предложить метод оценки двигательной активности клещей и осуществить его техническую реализацию.

3. Осуществить оценку антропогенных воздействий на места обитания клещей и параметров функционирования паразитарной системы.

4. Осуществить прогноз динамики двигательной активности клещей и оценить риск здоровью населения Санкт-Петербурга.

#### **Научная новизна работы:**

– предложен и обоснован метод комплексной оценки антропогенного воздействия на функционирование паразитарной системы «клещ – клещевые патогены»,

– произведена оценка воздействия тяжелых металлов и нефтепродуктов на территорию обитания исследуемой популяции клещей,

– предложен метод оценки двигательной активности клещей и осуществлена его техническая реализация,

– произведен прогноз двигательной активности клещей в рекреационной зоне Санкт-Петербурга,

– предложено использовать оценку состояния популяции клещей, как индикатора загрязнения окружающей среды.

#### **На защиту выносятся следующие положения:**

– комплексный метод оценки экологического состояния среды в местах обитания клещей и антропогенного воздействия на паразитарную систему;

– метод оценки двигательной активности клещей, позволяющий произвести прогнозирование динамики поведения клещей – переносчиков клещевых инфекций человека;

– система исследования параметров функционирования паразитарной системы для оценки риска здоровья населения Санкт-Петербурга.

#### **Практическая значимость работы.**

Произведена комплексная оценка воздействия среды на паразитарную систему на территории района исследования и определены факторы антропогенного воздействия на территорию. Предложен метод регистрации параметров двигательной активности клещей в экспериментальных условиях, осуществлена техническая реализация метода, обеспечивающая проведение исследования одновременно на группе клещей и накопление экспериментальной информации в базе данных. Произведена оценка риска

здоровью населения Санкт-Петербурга в условиях изменения поведения клещей и функционирования паразитарной системы в целом.

**Внедрение результатов работы** осуществлено в Зоологическом институте РАН. Результаты работы внедрены в учебный процесс Биолого-почвенного факультета Санкт-Петербургского государственного университета и Департамента образования Вологодской области ГОУ ДПО «Вологодский институт развития образования».

#### **Апробация работы.**

Основные положения работы были доложены на ежегодной отчетной научной сессии ЗИН РАН (Санкт-Петербург, 2000 и 2002 гг.); международной научной конференции «Образование в решении экологических проблем» (Курск, 2001 г.); Республиканской научной конференции «Экология, биоразнообразие и значение кровососущих членистоногих России» (Великий Новгород, 2002 г.); XXX межвузовской научно-практической конференции «Проблемы биологии и медицинской паразитологии» (Санкт-Петербург, 2003 г.); молодежной научной конференции «Экология 2003» (Архангельск, 2003 г.).

Работа выполнена в рамках комплексных исследований по грантам РФФИ: № 98-04-49899 (1998-2000гг.); № 02-04-48654 (2002-2003 гг.); № 02-04-63103 (2002 г.) и №03-04-63140 (2003 г.); № 04-04-49119 – 2004-2006 гг.; № 06-04-63068 – 2006 г. В рамках проектов: совместного Российско-Датского сотрудничества в области изучения боррелиоза Лайма в районе Санкт-Петербурга (Danish Research Council 9600864, – 1997-2001 гг.); Российско-Молдавского проекта – (08-04-90814 Moldova. – 2008-2009 гг.); Шведско-Российско-Беларуско-Эстонского сетевого проекта «Visby-070301» (2007-2010). В рамках программ: Федеральной целевой научно-технической программы "Биоразнообразие – 2001-2007 гг."; программы Фундаментальных исследований Президиума РАН – «Фундаментальные науки – медицине» (2006 г.); научной программы СПбНЦ РАН (2001-2002гг. и 2004-2005 гг.).

**Публикации.** По теме диссертации опубликовано 15 научных работ (включая 6 работ в периодических изданиях, рекомендованных ВАК РФ).

**Структура и объем диссертации.** Диссертационная работа состоит из введения, пяти глав, заключения, списка использованной литературы из 147 наименований и 3 приложений. Диссертация изложена на 150 страницах машинописного текста, включая 19 таблиц и 46 рисунков.

#### **СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ**

**Введение** содержит обоснование актуальности темы, постановку целей и задач исследования, новизну полученных результатов, практическую значимость, приводятся сведения об апробации работы и формулируются основные положения, выносимые на защиту.

**В первой главе** на основе обзора литературных данных дана обобщенная геоэкологическая характеристика территории обитания Санкт-петербургской популяции таежного клеща *Ixodes persulcatus*, рассмотрены основные антропогенные факторы и источники загрязнения территории исследования. Было выявлено, что именно антропогенное воздействие на лесные экосистемы играет ведущую роль при анализе изменений, происходящих с обитателями

этих лесных сообществ. Анализ основных источников антропогенного загрязнения территории показал, что значительная антропогенная нагрузка на территорию в районе исследования осуществляется за счет передвижных источников – автотранспорта. Рассмотрены особенности загрязнения окружающей среды тяжелыми металлами и нефтепродуктами. Показано, что именно эти токсиканты являются главными факторами антропогенной нагрузки на территорию исследования популяции таежного клеща.

Проанализированы закономерности изменения функционирования паразитарной системы на урбанизированной территории. Показано, что для оценки состояния окружающей среды функционирования паразитарной системы требуются применение специфичных методов мониторинга, которые позволят не только оценивать, но и прогнозировать отклонения в состоянии исследуемой системы от нормы, вызванные воздействием антропогенных факторов. Показана необходимость комплексной оценки окружающей среды по параметрам функционирования биосистемы в антропогенных условиях и применения новых методов и средств при ее анализе.

В главе 2 рассмотрены методы, применяемые для исследования антропогенного влияния на паразитарную систему и среду ее обитания, приведен весь объем материала, собранного этими методами.

В течение 1992 - 2007 гг., в рекреационной зоне Санкт-Петербурга (п. Ольгино - п. Лисий Нос, вдоль автотрассы «Скандинавия»), проводили мониторинг состояния популяции таежных клещей *Ixodes persulcatus* Shulze – переносчика тяжелых клещевых инфекций человека и с/х животных. Мониторинг включал регистрацию годовой, сезонной и суточной динамики численности и состава популяции клещей-хозяев патогенов, параметры каждой особи (размеры, морфологию, активность), состав патогенов и других организмов населяющих клещей и параметры среды их обитания.

В качестве материалов исследования были использованы сборы взрослых особей *I. persulcatus*, проб почвы и снеговых осадков. Сборы производились по стандартным методикам. Клещей собирали в соответствии с общепринятой методикой, в течение всего сезона активности клещей - с третьей декады апреля по первую декаду июля включительно. За весь период исследования было собрано и изучено различными методами 6919 взрослых особей (не менее 300 особей в один сезон активности). Одновременно со сбором клещей регистрировались параметры окружающей среды на территории их обитания.

Полевые и лабораторные исследования популяции клещей проводили на базе научной «группы по изучению паразитарной системы в антропогенном ландшафте: клещи *Ixodes* – патогены различной природы», затем лаборатории молекулярно-генетической систематики Зоологического института РАН. С целью определения наличия изменений в морфологии (аномалии наружного скелета) клещей применяли исследования фенотипа с использованием, как светового бинокулярного микроскопа, так и микрофотографирование различных форм аномалий. Для изучения активности клещей (как показателя агрессивности переносчика) был разработан метод расчета индекса их

двигательной активности (ИДА), измеряемой на специально сконструированном приборе «клещедроме».

Наличие патогенов в клещах определяли с помощью различных специфических для каждой группы патогенов методов: на наличие вируса клещевого энцефалита (КЭ) – метод иммуноферментного анализа, живых спирохет – метод темнопольной микроскопии; боррелий – иммунофлуоресцентный анализ: боррелий, КЭ и других патогенов (всего 8 патогенов) – генетический метод полимеразной цепной реакцией (ПЦР) с видоспецифическими праймерами.

Определение присутствия тяжелых металлов (ТМ) [свинца (*Pb*), кадмия (*Cd*), цинка (*Zn*) и меди (*Cu*)] в клещах проводили с помощью метода сравнительной инверсионной вольтамперометрии по утвержденной методике (на основании Госстандарта России). Было исследовано более 50 отдельных групп таежных клещей из разных мест объемом – 25-40 особей.

Для измерения уровня загрязнения исследуемой территории использовались сборы почвы и снеговых осадков, на разном расстоянии от автомагистрали (50, 100, 150, 200, 250, 300 м), которые были исследованы по утвержденным методикам на содержание тяжелых металлов методом инверсионной вольтамперометрии, а также на наличие тяжелых углеводов (нефтепродуктов) с помощью методики инфракрасной спектрофотометрии.

Все собранные и расчетные данные по исследованию клещей и параметров окружающей среды были занесены в электронную базу данных, созданную в процессе исследований на основе статистической программы SYSTAT 6.0 for Windows. Обработка и анализ полученных результатов исследования проводилась общепринятыми методами статистического анализа данных с использованием программы STATISTICA for Windows.

**В главе 3** произведен анализ существующей методики оценки двигательной активности клещей основанной на методе расчета индекса двигательной активности, полученной в результате слежения за движением клещей по наклонному клещедрому. Показано, что с помощью использованной методики можно выявить различия двигательной активности в зависимости от характеристик объекта: зараженный и незараженный, с аномалиями и без аномалий, по половым признакам и др. Сравнение особенностей разных популяций клещей позволяет более обоснованно подходить к определению их потенциальной и реальной опасности в качестве переносчиков боррелиоза в конкретных условиях меняющейся среды.

Представлено обоснование необходимости автоматизации процесса регистрации и анализа двигательной активности клещей и осуществлена разработка принципов технической реализации автоматизированного биотехнического комплекса, обеспечивающего процесс регистрации, накопления в базе данных и оценку параметров двигательной активности на совокупности клещей в реальном масштабе времени.

Показана необходимость регистрации двигательной активности биообъекта, как интегрального показателя содержащего информацию об изменениях состояния его организма, вызванного действием тех или иных

факторов риска. Принято оценивать двигательную активность путём измерения параметров траектории перемещения биообъекта по клетчедрому. Отмечено, что достоверная оценка двигательной активности, как маркера влияния факторов риска, возможна только на больших объёмах экспериментального материала, что обусловлено влиянием трудно идентифицируемых и не идентифицируемых возмущающих факторов.

Выявлены возмущающие факторы, в наибольшей степени, влияющие на двигательную реакцию биообъекта. Сформулирована задача и показаны пути объективизации получения экспериментальных данных при проведении оценки двигательной реакции биообъекта. Предложено автоматизировать процесс регистрации и оценки траектории перемещения биообъекта с помощью современных технических средств и осуществлять данный процесс одновременно на совокупности биообъектов. Показано, что в условиях необходимости проведения массовых испытаний использование автоматизированного биотехнического комплекса (АБТК) обеспечивает существенное повышение эффективности проведения исследования.

Определена структура взаимодействия факторов риска и естественных факторов окружающей среды с наблюдаемыми состояниями биообъекта. Предложено фиксировать значения наиболее значимых естественных факторов окружающей среды при проведении экспериментальных исследований с целью стабилизации их влияния на биообъект. Рассмотрены процессы, взаимодействующие при объединении технических средств и биообъекта при реализации целевой функции АБТК – повышении эффективности регистрации и оценки двигательной активности биообъекта. Определена необходимость соблюдения принципа адекватности в процессе данного взаимодействия.

Разработана модель, объединяющая все процессы с целью повышения эффективности экспериментальных исследований. Показано, что повышение эффективности обеспечивается за счёт оптимизации структуры современных технических средств и принципов их функционирования в условиях существующих ограничений. В этом случае двигательная активность биообъекта  $\Psi_k$  отражается в траектории его перемещения  $F$  на плоскости  $X, Y$  за интервал измерения  $T$ .

$$F = \Lambda \Psi_k = F(x, y, t),$$

где:  $\Lambda$  – оператор преобразования, реализуемый в условиях ограничений

$$x_{min} \leq x \leq x_{max}; \quad y_{min} \leq y \leq y_{max}; \quad 0 \leq t \leq t_{max}.$$

Двигательная активность, отражённая в совокупности точек траектории перемещения биообъекта, может характеризоваться вектором параметров

$$\vec{\xi} = \Gamma(x, y, \Delta t) = \xi_1, \xi_2, \dots, \xi_n,$$

где:  $\Gamma$  – оператор преобразования;  $\Delta t$  – период преобразования.

Оценка интенсивности двигательной активности представляется, как результат вычисления значения функционала:

$$H = \Omega(\vec{\xi}_1, \vec{\xi}_2, \dots, \vec{\xi}_j, \Delta t_j),$$

где:  $\Omega$  – оператор преобразования.

Процесс классификации состояния организма биообъекта и отнесение его к предполагаемому фактору риска представлен в виде решающего правила:

$$D_{zi(vi)} = \Theta(H, \Psi); \quad Zi(Vi) = 1 \text{ если } D_{zi(vi)} \geq P,$$

где:  $D_{zi(vi)}$  – оператор преобразования;  $P$  – порог классификации.

Осуществлено проектирование АБТК с учётом выдвинутых требований, обеспечивающих дополнительное повышение эффективности исследования. Предложены методические, технические и эргономические пути повышения эффективности. Разработана обобщённая структура средств АБТК. Предложены принципы взаимодействия технических средств при реализации целевой функции АБТК. Конкретизированы функции АБТК на основных этапах проведения исследования и определена его окончательная структура. Синтезирован алгоритм функционирования АБТК, учитывающий меры, предложенные для повышения эффективности исследования. Показано, что требования к алгоритму проведения эксперимента должны соответствовать конкретным задачам в зависимости от характера эксперимента, его направленности, особенностей и числа биообъектов, одновременно участвующих в эксперименте. Разработаны принципы обмена информацией между функциональными группами АБТК. Конкретизированы технические средства и принципы их организации в информационную сеть, необходимые для организации эффективного обмена информацией. Выбран протокол обмена информацией в рамках сети.

Осуществлена разработка модуля регистрации и измерения параметров двигательной активности биообъекта. Предложены принципы функционирования модуля, основанные на телевизионном принципе измерения координат траектории перемещения биообъекта по экспериментальному полигону. Разработана структура модуля регистрации двигательной активности биообъекта и модуля формирования параметров естественных факторов окружающей среды. Осуществлена разработка программной модели АБТК, имеющая объектно-ориентированную структуру. Показано, что в каждом узле программной модели организованы два процесса – коммуникационный и процедурный. Определены задачи каждого из процессов и принципы их реализации. Предложено использовать для реализации данных процессов современные высокопроизводительные микроконтроллеры.

Осуществлён анализ перспектив использования разработанного АБТК и пути дальнейшего повышения эффективности рассмотренных исследований. Показано, что разработанный АБТК является достаточно универсальным средством, предназначенным для решения широкого класса биологических и физиологических задач.

Разработанный АБТК был использован для проведения экспериментальных исследований по разработанным методикам, накопления экспериментальной информации в базе данных и апостериорной обработки с целью выявления искомых закономерностей.

**Глава 4** посвящена оценке экологического состояния популяции клещей, как маркера загрязнения окружающей среды.

Осуществлен выбор основных параметров для анализа экологического состояния паразитарной системы. Выбранные параметры – двигательная активность клещей, их зараженность патогенами, наличие аномалий развития

экзоскелета клещей, содержания ТМ и нефтепродуктов в клещах, почвах и снеге – позволяют осуществить комплексную оценку экологического состояния популяции клещей и дают возможность использовать клещей в качестве маркера загрязнения окружающей среды.

Произведен анализ влияния антропогенных факторов на состояние почвы и снежного покрова в районе исследования. Получены данные по загрязнению почв и снежного покрова ТМ и нефтепродуктами на территории обитания исследуемой популяции клещей в зависимости от удаленности от автомагистрали. Сравнение полученных результатов с допустимыми значениями содержания ТМ в почве показало, что единственным элементом превышающим свое допустимое значение является *Cd*. Так, за период исследования с 2000 по 2004 г. содержание *Cd* увеличилось на 50-70% и превышает ПДК для этих типов почв в 3-4 раза.

Проанализированы данные по содержанию ТМ в пробах почв зависимости от расстояния было обнаружено, что в зависимости от удаленности территорий от автодорожного полотна плотность загрязнений различна (рис.1).

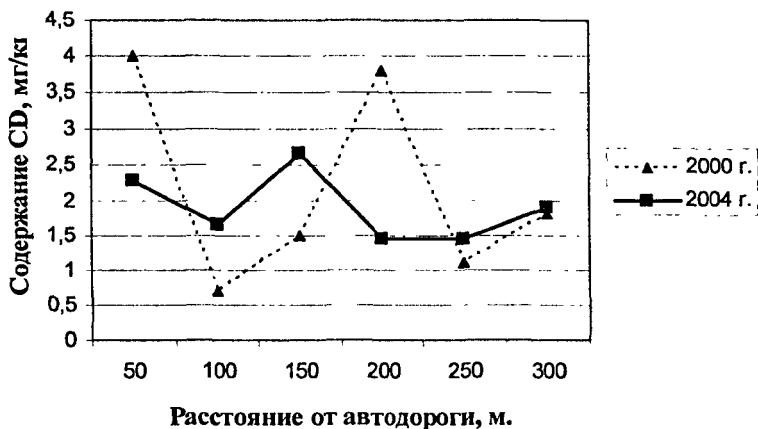


Рис.1. Динамика изменения валового содержание кадмия в пробах грунта

Увеличение концентрации *Cd* в пробах грунта, взятых на расстоянии 50 м, 150 м и 300 м, по сравнению с остальными пробами, объясняется по видимому тем, что материал был собран в низинах, имеющих достаточно мощный растительный покров. Так же различие в количественном содержании ТМ в сборах почв разных годов может быть связано с разной величиной снежного покрова. По некоторым данным, величина загрязняющих веществ в снежном покрове дорожных обочин намного превышает санитарно-гигиенические нормы.

Количество нефтепродуктов в пробах грунта в 2004 г. увеличилось по сравнению с 2000 г. в среднем в 27 раз и если в 2000 г. оно незначительно превышало ПДК (в 1,07 раза), то в 2004 г. – превысило в 29 раз.

При анализе проб снега обнаружилось, что превышение норм ПДК наблюдается почти по всем токсикантам (рис. 2). Содержание нефтепродуктов в снеге уменьшается с удалением от автодороги. Следовательно, выбросы нефтепродуктов от автотранспорта происходят на обочины автодороги, а затем со стоками при таянии снега перемещаются в лесной массив на незначительное расстояние.

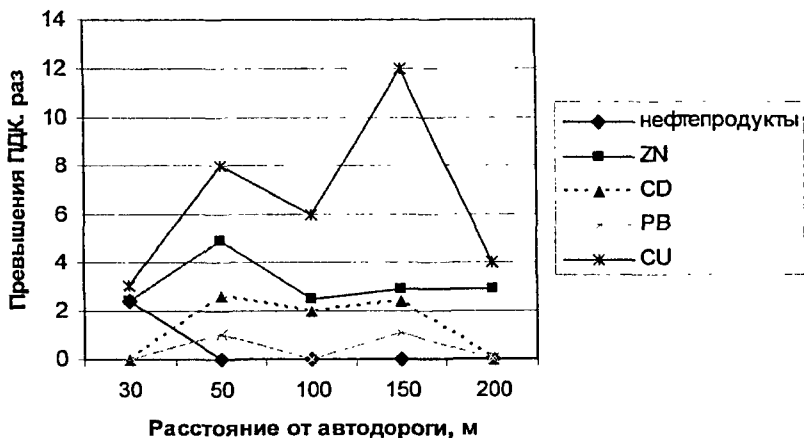


Рис. 2. Превышения норм ПДК токсикантов в снежном покрове на территории исследования

Было обнаружено, что содержание *Cd* в пробах грунта в зависимости от удаленности от автодороги различно и имеет определенный характер распространения. Предположено, что на уровень содержания загрязняющих веществ в почвах и снежном покрове влияет рельеф местности, а также различные условия природной среды (направление и сила ветра, количество осадков, величина снежного покрова, типы почв, состояние растительного покрова, и др.).

Осуществлена оценка воздействия ТМ на паразитарную систему. Показано, что повышенное содержание *Cd* и нефтепродуктов в почвах и снеге оказывает существенное влияние на изучаемую паразитарную систему. Клещи обитают и набирают влагу в подстилке, где идет накопление загрязняющих веществ, питаются кровью животных, также накапливающих это загрязнение, прежде всего через потребление растений, адсорбирующих загрязняющие вещества.

Проведенные фенотипические исследования собранных в районе исследования клещей *I. persulcatus* выявило наличие особей с дефектами (аномалиями) экзоскелета. Многолетние наблюдения в рекреационной зоне Санкт-Петербурга (п. Ольгино – п. Лисий Нос, Приморского района) вдоль автомагистрали «Скандинавия», показали, что в связи с увеличением транспортных потоков за последние 5 лет и, соответственно, увеличения

загрязнения атмосферы привели к значительному росту в популяции доли аномальных клещей (рис. 3).

За период 2000-2007 гг. на наличие аномалий было обследовано 3715 клещей *I. persulcatus*. Из них клещи с аномалиями экзоскелета составляли 42% (1553 особи). Кроме того, начиная с 2002 г. встречаемость особей с аномалиями наблюдается более чем у 40% исследуемых клещей.

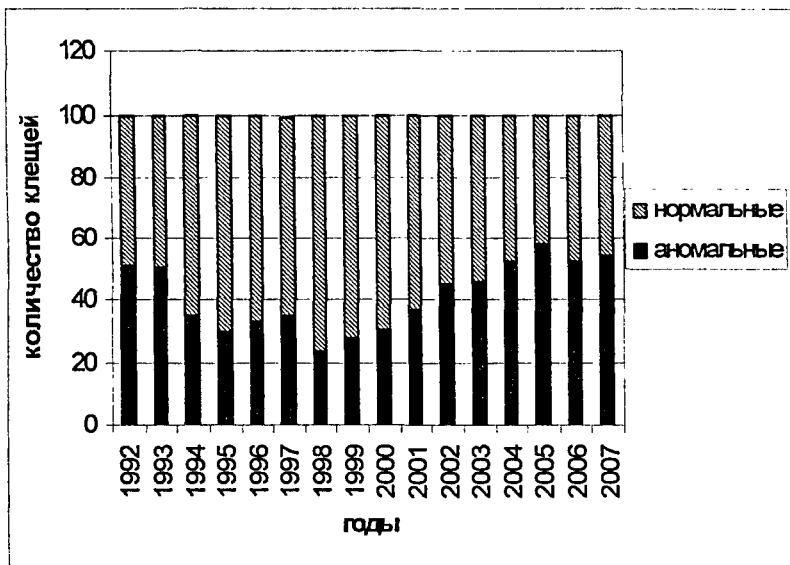


Рис. 3. Динамика встречаемости аномалий в популяции клещей пригорода Санкт-Петербурга

Выявлена зависимость между наличием аномалий экзоскелета клещей и содержания ТМ в них. Представлены данные о количественном содержании ТМ в клещах. Проведенное исследование отдельных групп таежных клещей с и без аномалий экзоскелета на наличия 4-х тяжелых металлов позволило выявить четкую корреляцию ( $p < 0.05$ ) между числом аномальных клещей и содержанием в них *Cd*. Установлены связи этой тенденции со степенью накопления ионов ТМ и в почве, и в самих клещах. Анализ полученных результатов ранее проведенных исследований в различных регионах показал, что независимо от места обитания клещей содержания *Cd* в них различается в зависимости от наличия аномалий (патологий) экзоскелета (рис. 4).

Обнаруженная связь аномалий экзоскелета у кровососущих иксодовых клещей со степенью антропогенного пресса дает возможность использовать их как маркер степени загрязнения среды.

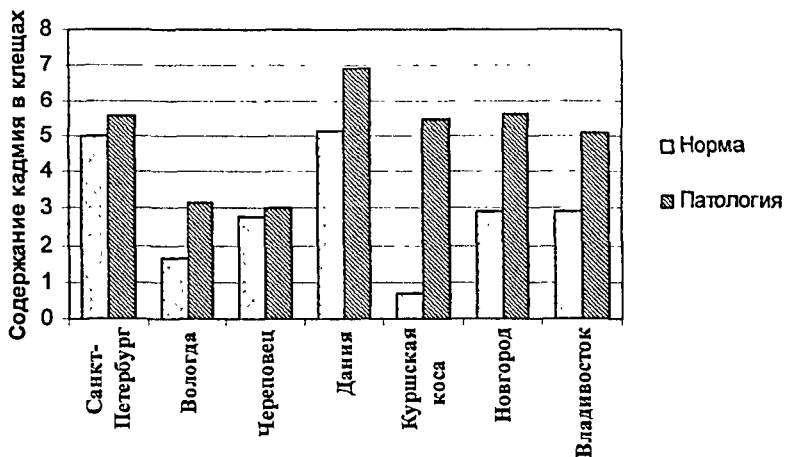


Рис. 4. Зависимость уровня содержания кадмия в клещах у аномальной и нормальной части популяции клещей на различных территориях обитания

Проанализирован характер изменения двигательной активности клещей *I. persulcatus* в результате антропогенного воздействия окружающей среды на популяцию. Выявлена корреляция между двигательной активностью клещей и степенью загрязнения среды ионами тяжелых металлов на разном расстоянии от шоссе (рис. 5). Выше всего она именно у дороги.

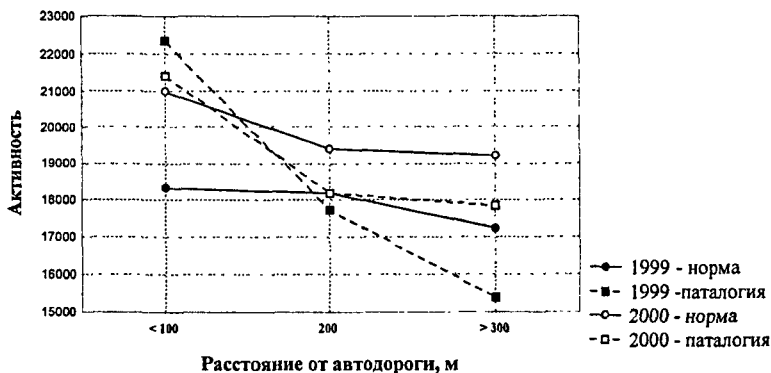


Рис. 5. Динамика активности взрослых клещей *Ixodes persulcatus* на разном расстоянии от автодороги

Анализ данных позволяет сделать вывод о максимальной эпидемиологической опасности по клещевым инфекциям именно придорожных участков леса, наиболее посещаемых приезжими, отдыхающими и туристами. Также была обнаружена зависимость активности клещей от пола, наличия аномалий и периода сезона активности клещей.

Анализ среднемноголетних данных активности таежных клещей в период

сезона выявил цикличность изменения активности по индексу ИДА с повторностью по месяцам каждые 2-3 года (с 1995 по 2002 гг.). Кроме того отмечена тенденция к увеличению общей активности по годам, причем ведущая роль в этой тенденции принадлежит клещам с аномалиями (рис 6). Полученные данные позволяют предположить, что это увеличение связано именно с усилением антропогенного пресса, с накоплением ТМ и нефтепродуктов.

Проведенный анализ динамики активности клещей выявил, что зараженность патогенами приводит к изменению их двигательной активности. Значительная часть клещей (в среднем около 30%) в Северо-Западном регионе заражена боррелиями, поэтому при статистическом анализе данных по степени зараженности популяции клещевыми патогенами был использован именно этот показатель.

Было обнаружено, что среднеголетние данные активности аномальных клещей, зараженных боррелиями, выше, чем таковые у незараженных особей.

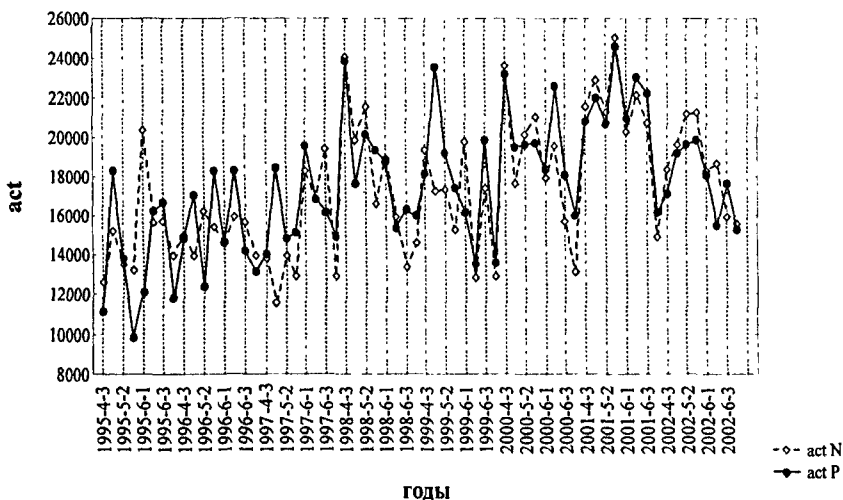


Рис. 6. Динамика активности нормальных (act N) и аномальных (act P) взрослых клещей *Ixodes persulcatus* по периодам сезонов 1995 – 2002 гг.: 4-3 – третья декада апреля; 5-2 – вторая декада мая; 6-1 – первая декада июня; 6-3 – третья декада июня

Среднеголетние данные активности аномальных клещей, зараженных боррелиями, выше, чем таковые у незараженных особей. Этот факт еще раз подтверждает большую эпидемиологическую опасность этой части популяции, причем особенно в весеннее время. Так же, как и в случае с исследованием активности 2-х составляющих популяцию клещей (с и без аномалий экзоскелета) (рис. 7) к концу сезона активность и зараженных, и незараженных клещей падает.

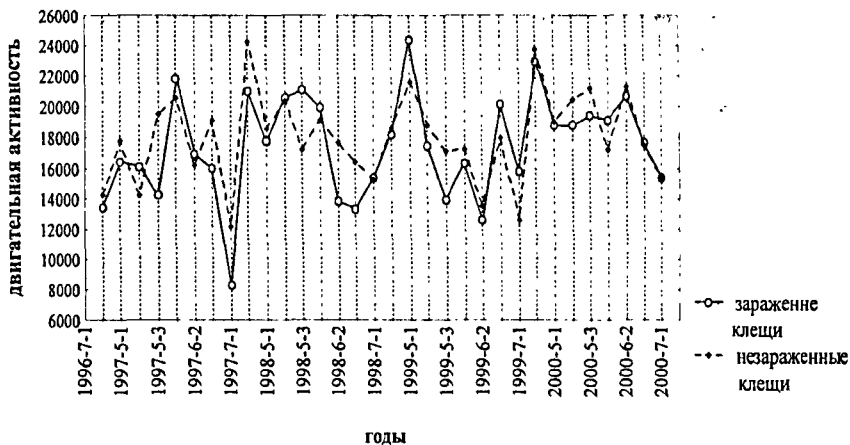


Рис. 7. Динамика активности зараженных и незараженных взрослых клещей *Ixodes persulcatus* по периодам сезонов 1997 – 2000 гг.: 5-1 – первая декада мая; 5-3 – третья декада мая; 6-2 – вторая декада июня; 7-1 – первая декада июля

Таким образом, изменение активности клещей имеет сезонную направленность: за период семилетнего измерения она имеет тенденцию к увеличению, меняется в зависимости от удаления от автодороги и коррелирует со встречаемостью аномалий экзоскелета у клещей. Кроме того, к изменению активности клещей приводит и степень заражения их боррелиями. Предложено считать двигательную активность клещей маркером функционирования популяции клещей в меняющихся условиях окружающей среды под воздействием антропогенного пресса.

Глава 5 посвящена использованию методов статистического анализу для прогнозирования динамики активности клещей и анализа взаимодействий в системе клещ – клещевые патогены при оценке риска здоровью населения Санкт-Петербурга.

Рассмотрены экологические предпосылки эпидемиологического прогноза в районе исследований. Показано, что прогнозирование изменения активности клещей *I. persulcatus* переносчиков различных возбудителей клещевых инфекций человека и животных, необходимо для оценки опасности конкретных популяций в очагах трансмиссивных инфекций. Определение показателей двигательной активности дает возможность изучить функционирование паразитарной системы в меняющихся условиях окружающей среды и разработать методы профилактики заражения клещевым боррелиозом и другими инфекциями, передаваемыми клещами.

По данным Госкомстата в Санкт-Петербурге и Ленинградской области ежегодно регистрируют от 50 до 100 случаев КЭ, 400-600 случаев иксодовых клещевых боррелиозов; причем в 80-90% случаев заражение горожан происходит на территории города и ближайших окрестностей. Наибольшее

число пострадавших от укусов клещей регистрируется на территории Курортного, Московского, Приморского районов и особенно Павловского парка.

Накопленные в течение 13 лет (1993–2007) данные, характеризующие зараженность, половой состав и двигательную активность всех отловленных взрослых особей петербургской популяции таежных клещей (станция Морская, Лисий Нос) позволили проанализировать их с целью построения прогностической модели. Прогнозирование активности поведения клещей проводили с использованием построенной на основе программы STATISTICA for Windows модели AP(2) (авторегрессии 2-го порядка). Построение ряда активности осуществлялось на временном интервале 1995–2002 гг., с учетом 2-х составляющих популяций клещей рода *Ixodes*: особей с аномалиями экзоскелета и особей без них («нормальных» клещей). Была произведена идентификация моделей, оценены их параметры, проведены исследование адекватности моделей, построен прогноз дальнейшего поведения ряда на основе наблюдаемых значений (рис. 8).

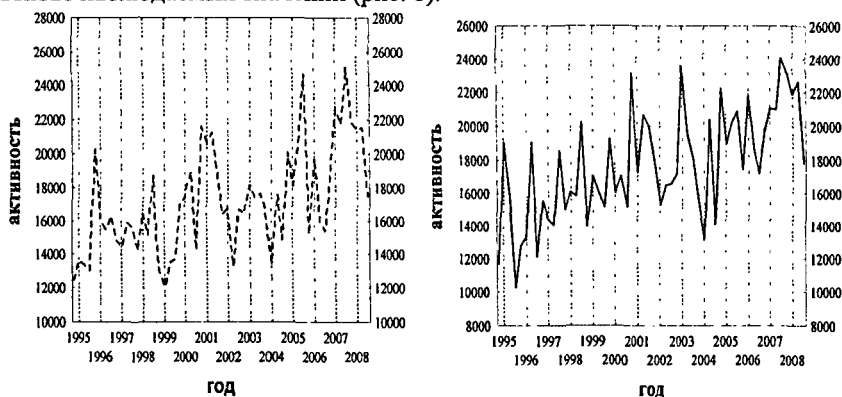


Рис. 8. Прогноз динамики двигательной активности для нормальной (---) и аномальной (—) части популяции клещей

Для проверки адекватности построенного прогноза были использованы данные базы экспериментальных данных. Хорошее совпадение результатов эксперимента с теоретически предсказанными данными, особенно для ряда значений активности аномальных клещей, подтвердило ее адекватность.

Исходя из полученных результатов прогноза активности клещей было отмечено, что активность обеих групп составляющих петербургскую популяцию клещей имеет устойчивую тенденцию повышения двигательной активности. Проведенный анализ выявил, что это связано с изменением функционирования паразитарной системы «клещ – клещевые патогены» при постоянном росте антропогенных воздействий на среду обитания исследуемого биообъекта.

Применение метода прогнозирования позволило не только оценить предполагаемую активность клещей, но и дает возможность прогнозировать их

потенциальную опасность (агрессивность) в зависимости от наличия аномалий развития клещей и от экстенсивности и интенсивности заражения их клещевыми патогенами и тем самым выявить основные факторы риска здоровья населения С.-Петербурга.

Следует отметить, что проведенные ранее исследование зараженности клещей *I. persulcatus* с использованием методов идентификации возбудителей болезней человека: темнопольной микроскопии (ТМ), непрямой реакции иммунофлуоресценции (ИРИФ) и методом полимеразной цепной реакции (ПЦР), позволило выявить наличие 7 патогенов в клещах (*B. burgdorferi* s.s., *B. afzelii* и *B. garinii*, возбудителей эрлихиозов (ГЭЧ и МЭЧ) человека *Anaplasma phagocytophila* и *Ehrlichia muris*, бабезиоза – *Babesia microti* и вируса клещевого энцефалита. Всего было исследовано 1406 особей, среди которых 667 (47.4%) содержали патогенные для человека микроорганизмы. Среди исследованных методом ПЦР зараженных особей (417) множественное заражение клещей возбудителями болезней человека представленного в виде двойных, либо тройных сочетаний, составило 32.6%, причем ни разу не было обнаружено более трех патогенов в одной особи одновременно, что позволило предположить наличие несовместимости между некоторыми патогенами.

Для обнаружения связей в системе «клещ – клещевые патогены», при оценке риска здоровья населения С.-Петербурга в условиях изменения функционирования паразитарной системы, был использован метод многомерного статистического анализа, которые позволил выявить основные факторы, характеризующие исследуемую популяцию как систему, отражающую взаимоотношения переносчика и возбудителей. Для оценки связей между элементами системы и проверки предположения о совместимости или несовместимости патогенных микроорганизмов между собой в переносчиках – клещах, был проведен многофакторный анализ (метод главных компонент). Проведенный анализ выявил принципы совместимости различных патогенов в одном клеще в зависимости от места локализации в организме переносчика и основные закономерности множественной зараженности клещей возбудителями клещевых инфекций. Были проанализированы связи между внутриклеточными и внеклеточными патогенами и выявлено, что для сочетаний патогенов в одном клеще ведущим фактором, определяющим возможность существования двойных и тройных инфекций, является характер паразитирования микроорганизмов.

Применение многомерного статистического анализа для проверки совместимости различных клещевых патогенов имеет не только теоретическое, но и практическое значение, позволяя прогнозировать вероятную частоту сочетаний различных, совместимых друг с другом возбудителей и исключая возможность заражения одной и той же особи переносчика несовместимыми паразитическими микроорганизмами. Доказательство несовместимости *Ehrlichia* sp. и *Babesia* sp. в одном клеще исключает наличие смешанной инфекции двумя видами эрлихий или эрлихий и бабезий в результате присасывания одной особи клеща, и тем самым, упрощает задачи диагностики и лечения этих инфекций.

Кроме того, проведение комплексной оценки функционирования паразитарной системы, позволило предположить, что одним из этих факторов может служить наличие аномалий экзоскелета клещей, т.е. подавления их иммунитета. Обнаруженная взаимосвязь между инфицированием клещей патогенами и аномалиями развития экзоскелета в условиях антропогенного загрязнения окружающей среды увеличивает риск возникновения инфекционных заболеваний человека. Постоянный рост антропогенного пресса на территорию обитания исследуемой популяции клещей приводит к возрастанию числа клещей с аномалией, результатом чего служит увеличение экстенсивности и интенсивности заражения таких особей.

Проведенные ранее исследования показали что, бактерии и вирусы встречаются в клещах с высоким содержанием ТМ достоверно чаще и в большей концентрации (в 30-35% случаев). Зараженные клещи, становятся более активными и потому более опасными для людей, а значительное накопление свинца и кадмия в них приводит к снижению иммунитета и более частому заражению двумя или даже тремя возбудителями болезней сразу. Выявленная зависимость частоты встречаемости аномалий от антропогенного пресса на окружающую среду делают жизненно важной задачей повсеместное внедрение ресурсосберегающих и природоохранных мероприятий, что позволит снизить антропогенный пресс на среду обитания.

Таким образом, знание закономерностей структуры и характеристик изучаемой паразитарной системы позволяет предвидеть ее функционирование в меняющихся условиях и тем самым определить пути воздействия или охраны окружающей среды.

В заключении представлены основные результаты диссертационной работы и даны практические рекомендации по улучшению обстановки.

## ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ДИССЕРТАЦИОННОЙ РАБОТЫ

1. Произведена комплексная оценка интенсивности антропогенного воздействия на окружающую среду по параметрам функционирования паразитарной системы, заключающаяся в последовательном проведении ряда этапов: мониторинга состояния окружающей среды с оценкой загрязнения территории исследования, мониторинга состояния Санкт-Петербургской популяции таежного клеща *Ixodes persulcatus*, оценки динамики поведения клещей и определение параметров функционирования исследуемой паразитарной системы.

2. Проанализированы и определены значимые антропогенные факторы, влияющие на исследуемую паразитарную систему. Проведен мониторинг состояния паразитарной системы, который послужил основанием для заключения об отрицательном влиянии техногенного воздействия на территорию обитания клещей.

3. Предложен метод оценки двигательной активности клещей и показана необходимость автоматизации процесса оценки. Разработана модель, объединяющая процессы, необходимые для реализации автоматизированной оценки в условиях заданных ограничений. Предложен состав аппаратных и

программных средств, обеспечивающих проведение исследований в реальном масштабе времени одновременно на разных группах клещей. Осуществлена техническая реализация биотехнического комплекса, обеспечивающего автоматизацию процесса исследования двигательной активности, что позволяет существенно сократить время, необходимое для получения статистически значимой оценки параметров состояния клещей.

4. Проанализирован характер изменения двигательной активности клещей, обитающих на территории с высоким антропогенным прессом. Выявлена корреляция между двигательной активностью клещей *Ixodes persulcatus*, степенью загрязнения среды ионами тяжелых металлов и наличием аномалий развития экзоскелета. Предложено считать двигательную активность клещей индикатором состояния популяции клещей в меняющихся условиях окружающей среды под воздействием антропогенного пресса.

5. Представлены экологические предпосылки эпидемиологического прогноза в районе исследований. Осуществлен прогноз динамики изменения двигательной активности клещей под влиянием растущего антропогенного пресса. Использование метода оценки двигательной активности клещей-переносчиков в зависимости от наличия аномалий развития и от экстенсивности и интенсивности их заражения клещевыми патогенами обеспечит возможность прогнозировать изменение потенциальной опасности (агрессивности) таежных клещей для здоровья всех слоев населения.

6. Выявлены причинно-следственные связи между силой давления антропогенного пресса и опасностью возникновения клещевых инфекций, что позволяет оценивать и прогнозировать эпидемиологическую ситуацию по клещевым инфекциям в любом регионе России, что имеет существенное значение, как с теоретической точки зрения, так и с точки зрения практической медицины. Разработанный метод предложен в качестве рабочего инструмента для паразитологических, эпидемиологических и геоэкологических исследований.

7. Предложено использовать комплексный метод оценки состояния популяции клещей *Ixodes persulcatus* в качестве индикатора загрязнения окружающей среды. Результаты исследования предложено использовать в практике региональных и межрегиональных санитарно-эпидемиологических станций и в медицинских центрах, занимающихся профилактикой и лечением клещевых инфекций.

## **ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ И НАУЧНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОПУБЛИКОВАНЫ В СЛЕДУЮЩИХ РАБОТАХ**

### **Научные статьи, опубликованные в периодических изданиях, рекомендованных ВАК РФ**

1. Юшкова О.В. Состояние популяций клещей рода *Ixodes*, переносчиков болезней человека, как маркер состояния внешней среды в результате ее загрязнения / О.В. Юшкова, Е.В. Дубинина, А.Н. Алексеев // Поволжский экологический журнал. – 2007. – №3. – С. 235-244.

2. Юшкова О.В. Результаты санитарно-эпидемиологического мониторинга очага клещевых инфекций (на примере популяции таежных клещей переносчиков болезней человека) в рекреационной зоне Санкт-Петербурга / О.В. Юшкова, Е.В. Дубинина, А.Н. Алексеев // Вестник Российской Военно-Медицинской академии. – 2008. – Приложение (часть II). – Т.2(22). – С. 594-595.

3. Юшкова О.В. Прогнозирование опасности очага клещевых природных инфекций на основе статистического анализа измерений состояния их популяции под влиянием антропогенного пресса / О.В. Юшкова, Е.В. Дубинина // Естественные и технические науки. – №2(34). – 2008. – С. 318-320.

4. Alekseev A.N. Forecasting model of the locomotor activity of taiga ticks *Ixodes persulcatus* Schulze (Acari: Ixodidae) in the focus of borreliosis / A.N. Alekseev, H.V. Dubinina, O.V. Jushkova // Зоологические сессии (годовые доклады 2000). – Труды Зоологического института РАН. – Т.289. – Санкт-Петербург, 2001. – С. 15-22.

5. Alekseev A.N. First report on the coexistence and compatibility of seven tick-borne pathogens in unfed adult *Ixodes persulcatus* Schulze (Acarina: Ixodidae) / A.N. Alekseev, H.V. Dubinina, O.V. Jushkova // Int. J. Med. Microbiol. – 2004. – Vol.293, Suppl.37. – P. 104-108.

6. Jushkova O.V. A pilot experiment of multivariate analysis of compatibility control of different pathogens in the vector organism / O.V. Jushkova, A.N. Alekseev, H.V. Dubinina // Зоологические сессии (годовые доклады 2002). – Труды Зоологического института РАН. – Т.299. – Санкт-Петербург, 2003. – С. 51-60.

#### Научные статьи, опубликованные в материалах конференций и межвузовских сборниках

7. Алексеев А.Н. Опыт построения прогностической модели активности поведения клещей *Ixodes persulcatus* (Acarina, Ixodidae) в очаге боррелиоза / А.Н. Алексеев, Е.В. Дубинина, О.В. Юшкова // Образование в решении экологических проблем. Материалы международной научной конференции. – Курск: КГПУ, 2001. – С. 93-94.

8. Алексеев А.Н. Способность клещей к множественному заражению как функция их физиологического состояния / А.Н. Алексеев, Е.В. Дубинина, О.В. Юшкова // Экология, биоразнообразие и значение кровососущих членистоногих России. – Сб. науч. работ по матер. II Республ. науч. конф., 27-29 мая 2002 г. – Великий Новгород, 2002. – С. 97-101.

9. Алексеев А.Н. Прогностическая модель активности поведения таежных клещей в очаге боррелиоза / А.Н. Алексеев, О.В. Юшкова, Е.В. Дубинина // Отчетная научная сессия по итогам работ 2000 г. – Тез. докл. – СПб: ЗИН РАН, 2001. – С. 5-6.

10. Дубинина Е.В. Антропогенный пресс, накопление ионов тяжелых металлов, изменение свойств переносчиков боррелиозов и паразитарной системы в целом / Е.В. Дубинина, О.В. Юшкова, Д.А. Аристов // Проблемы современной паразитологии. Матер. междунар. конф. и III съезда Паразитол. съезда при РАН. Петрозаводск, 6-12 октября 2003. – СПб: ЗИН РАН,

Паразитол. общ-во при РАН, 2003. – С. 145-147.

11. Юшкова О.В. Применение метода статистического прогнозирования активности переносчика в природном очаге клещевых инфекций / О.В. Юшкова // Экология 2003. – Молодеж. науч. конф. Архангельск, 17-19 июня 2003. – Архангельск, 2003. – С. 30-31.

12. Юшкова О.В. Влияние антропогенного пресса на экологическое состояние компонентов паразитарной системы / О.В. Юшкова // Доклады юбилейной научной конференции. – СПб.: Изд-во СЗТУ, 2006. – Т.1. – С. 138-146.

13. Юшкова О.В. Анализ факторов, влияющих на функционирование паразитарной системы. / О.В. Юшкова // Доклады юбилейной научно-технической конференции. – СПб.: Изд-во СЗТУ, 2006. – Т.3. – С. 84-92.

14. Юшкова О.В. Опыт применения математического многомерного анализа для определения совместимости клещевых патогенов в организме переносчика / О.В. Юшкова, А.Н. Алексеев, Е.В. Дубинина // Отчетная научная сессия по итогам работ 2002 г. – Тез. докл. – СПб.: Зоол. инст. РАН, 2003. – С. 39-40.

15. Alekseev A.N. Epidemiological, clinical and parasitological aspects of Ixodes tick multiinfection prevalence / A.N. Alekseev, H.V. Dubinina, O.V. Jushkova // Sympozjum. Parazytozy – problemy kliniczne. Białystok, 6 Czerwca, 2003. – Białystok, 2003. – P. 12.

АВТОРЕФЕРАТ  
**КОМПЛЕКСНАЯ ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ ОКРУЖАЮЩЕЙ  
СРЕДЫ ПО ПАРАМЕТРАМ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ  
ПАЗИТАРНОЙ СИСТЕМЫ**

Юшкова Ольга Викторовна

Лицензия ЛР № 020308 от 14.02.97.

---

Подписано к печати	14.10 2008 г.	Формат 60x84 1/16
Б.кн.журн. 1,0 П.л. 0,5 Б.л.		из-во СЗТУ
Тираж 100	Заказ	2049

---

Северо-Западный государственный заочный технический университет  
Издательство СЗТУ, член Издательско-полиграфической ассоциации  
университетов России  
191186, Санкт-Петербург, ул. Миллионная д. 5