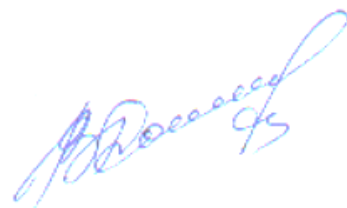


На правах рукописи



**ДОМНИНА**  
**Виктория Леонидовна**

**ИССЛЕДОВАНИЕ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ВОДНЫХ  
ОБЪЕКТОВ Г. ТУЛА МЕТОДАМИ БИОИНДИКАЦИИ И  
БИОТЕСТИРОВАНИЯ**

**03.02.08 – экология (биология)**

**Автореферат**  
**диссертации на соискание ученой степени**  
**кандидата биологических наук**

**Тула - 2015**

Работа выполнена на кафедре биологии и экологии Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Тульский государственный педагогический университет имени Л.Н. Толстого».

Научные руководители: доктор биологических наук, профессор

**Короткова Анна Альбертовна**

доктор биологических наук

**Терехова Вера Александровна**

Официальные оппоненты: **Чуйко Григорий Михайлович**

доктор биологических наук, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Институт биологии внутренних вод им. И.Д. Папанина Российской академии наук», заведующий лабораторией физиологии и токсикологии водных животных

**Медянкина Мария Владимировна**

кандидат биологических наук, доцент, Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии», заведующий лабораторией эколого-токсикологических исследований

Ведущая организация: Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Институт экологии Волжского бассейна Российской академии наук»

Защита состоится «\_\_» \_\_\_\_\_ 2015 г., в \_\_ часов \_\_ минут на заседании диссертационного совета Д 212.025.07 во Владимирском государственном университете имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых по адресу: 600000, г. Владимир, ул. Горького, д. 87, корп. 1, ауд. 335.

С диссертацией и авторефератом можно ознакомиться в научной библиотеке ВлГУ и на официальном сайте [diss.vlsu.ru](http://diss.vlsu.ru).

Автореферат разослан «\_\_» \_\_\_\_\_ 2015 г.

Ученый секретарь диссертационного совета,  
кандидат биологических наук, доцент



О.Н. Сахно

### Общая характеристика работы

**Актуальность работы.** Город Тула и Тульская область – регион с длительным интенсивным освоением территории, вследствие чего здесь накоплен целый ряд проблем экологического характера. Одной из них является истощение водных ресурсов, выражающееся не только в загрязнении поверхностной воды, но и в стремительном заиливании русла, усиливающим аккумуляцию поллютантов донными отложениями (Г.А. Дружбин, 2004; В.А. Щербакова, 2006). При оценке уровня загрязнения водных объектов приоритетными являются наблюдения за состоянием сообществ гидробионтов, в частности протистопланктона и макрозообентоса, поскольку они являются надежными показателями качества воды (Д.М. Безматерных, 2003; А.А. Телеганов, 2007, 2008).

Исследования биоразнообразия, уровня органического загрязнения и токсичности водных объектов г. Тула и Тульской области немногочисленны и представлены лишь в отдельных работах (Н.П. Булухто, 1991; 1993; 1996; 1997; 1998, с. 46-47; 1998, с. 47-48; 1999, 2000; 2009; Короткова, 2012; Ж.В. Филимонова, 2001; Е.Ю. Чеворыкина, 2012). В то время как для объективной оценки экологического качества водных объектов и нормирования поступления загрязняющих веществ необходим анализ состояния сообществ живых организмов. Особая роль в оценке экологического риска загрязнений отводится методам биодиагностики природных сред, включающим биоиндикацию и биотестирование, поскольку они позволяют установить биодоступность поллютантов (Е.Л. Воробейчик, 1994; В.А. Терехова, 2007; О.Ф. Филенко, И.В. Михеева, 2007). Таким образом, для нормирования антропогенных нагрузок и прогнозирования состояния водных объектов г. Тула актуальны и важны комплексные исследования сообществ протистофауны и макрозообентоса.

**Целью** исследования данной работы являлась биоиндикация и биотестирование уровня загрязнения водных объектов г. Тула на основе реакций протистофауны и макрозообентоса. Для достижения поставленной цели решались следующие **задачи**:

- охарактеризовать видовой состав протистофауны и макрозообентоса водных объектов;
- определить степень сходства видового состава протистофауны и макрозообентоса;
- изучить особенности трофической структуры макрозообентоса;
- проанализировать сезонную динамику относительного таксономического обилия протистофауны и макрозообентоса;
- установить уровень сапробности водных объектов с использованием индикаторных таксонов протистофауны и макрозообентоса;
- выявить сезонную динамику индекса сапробности;
- оценить уровень токсичности поверхностной воды и донных отложений водных объектов.

**Научная новизна исследований.** В результате исследования дан комплексный обзор таксономического разнообразия и определена структура протистофауны и макрозообентоса водных объектов в створах исследования (р. Упа, р. Воронка, р. Тулица, Комаркинский ручей, Клоковский ручей, оз. Кулик). Впервые выявлена многолетняя динамика относительного обилия протистофауны, а также сезонная динамика относительного обилия протистофауны и макрозообентоса. Впервые рассмотрена трофическая структура макрозообентоса р. Упа и р. Воронка. В ходе исследований апробирован метод оценки сапробности посредством определения протистофауны до родов, проанализирована сезонная и многолетняя динамика индекса сапробности и определен уровень органического загрязнения. В результате биотестирования установлен уровень токсичности водных объектов в створах исследования. На основе обобщения данных биоиндикационных, токсикологических и химических исследований получена оценка экологического состояния водных объектов г. Тула, в разной степени подверженных антропогенному воздействию.

**Теоретическая и практическая значимость исследований.** Работа имеет существенное значение для прогнозирования последствий антропогенного воздействия на водные объекты, планирования мероприятий по охране и экологической реконструкции водных объектов г. Тула. Результаты работы рекомендуются к использованию при реализации задач по улучшению состояния водных объектов Тульской области, поставленных в Государственной программе «Охрана окружающей среды Тульской области», Долгосрочной целевой программе «Водные объекты и водные ресурсы Тульской области на 2012 – 2017 годы» и Концепции экологического развития Тульской области на 2012 – 2016 годы, что будет способствовать ликвидации санитарно-неблагополучных водных объектов, восстановлению и сохранению биоразнообразия в соответствии с принципами устойчивого развития общества.

Представляется возможным использование результатов исследований органами государственного контроля, надзора и охраны водных биологических ресурсов и Росприроднадзора при проверке соответствия деятельности предприятий природоохранному законодательству РФ. Подразделения Центра по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды могут использовать практику применения биологических методов при оценке состояния водных объектов в комплексе с гидрохимическими методами анализа. Материалы работы используются в курсах экологии и зоологии беспозвоночных в Тульском государственном педагогическом университете имени Л.Н. Толстого, а также при проведении полевых практик и лабораторно-практических занятий.

**Основные положения, выносимые на защиту:**

1. Показатели биоразнообразия и численности сообществ, а также трофическая структура характеризуют качество среды водной экосистемы в целом и ее антропогенные изменения.

2. Сезонная динамика относительного обилия протистофауны и макрозообентоса зависит от абиотических факторов среды (температура, кислородный режим, ледяной покров), а сезонную динамику индекса сапробности в большей степени определяют антропогенные факторы.

3. Исследуемые экосистемы характеризуются различными уровнями органического загрязнения (от β-мезосапробных до полисапробных).

4. Токсичность поверхностной воды и донных отложений водных объектов характеризуется неоднородностью по степени и в пространственном аспекте.

**Апробация работы.** Диссертация апробирована на расширенном заседании кафедры биологии и экологии Тульского государственного педагогического университета им. Л.Н. Толстого; на объединенном семинаре лаборатории экотоксикологического анализа почв МГУ им. М.В. Ломоносова и лаборатории изучения экологических функций почв ИПЭЭ РАН.

Основные результаты исследований по теме диссертации доложены на Международном научно-практическом семинаре «Экологически устойчивое развитие. Рациональное использование природных ресурсов», Тульская область, Музей-усадьба «Ясная поляна», 2010 г.; V Региональной научно-практической конференции аспирантов, соискателей и молодых ученых «Исследовательский потенциал молодых ученых: взгляд в будущее», г. Тула, 2011 г.; Международной научно-практической конференции «Экология речных бассейнов», г. Владимир, 2011 г.; Международной видеоконференции «Чистая вода населению», г. Тула – г. Олбани, 2011 г.; IX Выставке научно-технического творчества молодежи Euro-Sciences Europe 2012, г. Тула, 2012 г.

**Публикации.** По теме диссертации опубликовано 10 работ, в том числе три статьи в изданиях, рекомендованных ВАК Министерства образования и науки РФ.

**Структура и объем работы.** Диссертация изложена на 191 страницах, состоит из введения, 3-х глав, заключения, выводов, практических рекомендаций, списка литературы (245 наименований, из них 63 – на иностранных языках) и 7-ми приложений. Диссертация содержит 45 рисунков, 23 таблицы и 7 приложений.

## ГЛАВА 1. ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ

В главе рассмотрены широко используемые методы биологического контроля качества вод. Проанализированы достоинства и недостатки использования индексов биоразнообразия, доминирования, индексов сапробности в различных модификациях, индексов Р. Патрика, В. Бекка, Т. Бика, Ф. Вудивисса (индекс р. Трент), Грехэма, Чандлера, Майера и др. (Т.W. Beak, 1959, 1964; W.M. Beck, 1955; L.A. Bervoets, 1989; N. DePauw, 2001, G. Friedrich, 1992; D. Gheleu, 2011; R.K. Jonson, 1995; F. Mayer, 1986; J.L. Metcalfe, 1989; R. Patrick, 1950; J. Verneaux, 1967; F.S. Woodivis, 1964), а также достоинства и недостатки метода биотестирования. Рассмотрена роль протистофауны и макрозообентоса в оценке качества водной среды. Сделан акцент на необходимость проведения комплексных исследований водной среды с целью повышения точности оценки.

Исходя из того, что общепризнанной единой системы биологического анализа качества вод с целью решения конкретных задач не существует, схема исследования составляется в зависимости от конкретной цели. В связи с этим оценка экологического состояния водных объектов г. Тула осуществлялась методами биоиндикации (оценка сапробности) и биотестирования, а также производилась оценка биоразнообразия гидробионтов (протистофауны и макрозообентоса).

## ГЛАВА 2. ОБЪЕКТЫ, УСЛОВИЯ И МЕТОДЫ ПРОВЕДЕНИЯ ИССЛЕДОВАНИЙ

Исследования проводились на озере Кулик, реках Упа, Воронка и Тулица, Комаркинском и Клоковском ручьях. Выбор данных водных объектов основывается на том, что малые реки наиболее оптимально подходят в качестве модельных объектов исследования, поскольку достаточно чувствительны к антропогенным воздействиям.

*Отбор проб.* Отбор, транспортировка и хранение проб воды и донных отложений для биоиндикации и биотестирования производился согласно ГОСТ Р 51592-2000, НВН 33-5.3.01-85, ПНД Ф 12.15.1-08. Отбор протистофауны оз. Кулик проводился в одном створе исследования с 2005 по 2009 гг., р. Упа в трех створах исследования – с 2007 по 2009 гг. На водных объектах: р. Тулица, Комаркинском и Клоковском ручьях отбор протистофауны проводился один раз. Отлов макрозообентоса производился в полевой сезон 2011 г. в 5 створах исследования на р. Упа и в 4 створах на р. Воронка.

*Химический анализ.* Анализ протоколов химико-аналитических исследований проводился в соответствии с нормативным документам (Методические указания по разработке нормативов качества воды ..., 2009; Р 52.24.756 – 2011; Нормативы качества воды ..., 2010).

*Фаунистический анализ.* Определение протистофауны и макрозообентоса проводилось по описаниям в литературе (Определитель пресноводных беспозвоночных России..., Т.1; Т.2; Т.3; Т.5; Т.6; Е.М. Хейсин, 1951). Такие таксономические группы макрозообентоса как хирономиды и олигохеты не учитывались при исследовании. Для данных сообществ рассчитаны: индекс Шеннона, коэффициенты Жаккара,  $\beta$ -разнообразия, коэффициенты их вариации, индекс доминирования Паляя – Ковнацки (Г.Ф. Лакин, 1990; В.Ф. Палий, 1961; В.К. Шитиков, 2003; А. Kownacki, 1971). Для оценки уровней сапробности использовался расчет индекса сапробности Пантле-Букка в модификации В. Сладечека (А.В. Макрушин, 1978) и М.В. Чертопруда (М.В. Чертопруд, 2002, Том 29, №3; В.К. Шитиков, 2003).

*Оценку токсичности* воды и донных отложений проводили с помощью биотестирования с использованием равноресничных инфузорий в соответствии с Методикой выполнения измерений (А.А. Рахлеева, 2008).

Для статистической обработки и сравнения результатов, полученных методами биоиндикации и биотестирования использовался кластерный анализ (программа Statistika 6.0.).

## **ГЛАВА 3. РЕЗУЛЬТАТЫ СОБСТВЕННЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ**

### **3.1. Простейшие водных экосистем г. Тула**

#### **3.1.1. Биоразнообразие простейших-гидробионтов**

**Таксономический состав протистофауны оз. Кулик и р. Упа.** За весь период исследования оз. Кулик в черте г. Тула выявлен 41 род *Protozoa*, в р. Упа – 50 родов. В целом фауна простейших р. Упа и оз. Кулик, в том числе и в фоновом створе, характеризуется высоким биоразнообразием (выявлено 54 рода *Protozoa*, индекс Шеннона 2,71 – 2,78) и их невысокой численностью (в основном доминирующие виды имеют максимальную относительную численность 5 баллов), что характерно для экосистем с умеренным содержанием органического вещества. Наибольшим обилием в протистофауне этих водных объектов отличаются инфузории (51 род, 94,4% относительного родового обилия).

Протистофауна как р. Упа, так и оз. Кулик характеризуется единообразием таксономического (родового) состава (коэффициент Жаккара в среднем 0,53 – 0,60). Однако стабильность таксономического состава во временном аспекте отмечена только для р. Упа (коэффициент Жаккара в среднем 0,58). Здесь поддерживается некое равновесное состояние и функционируют механизмы, направленные на активное разложение образующихся органических веществ. Протистофауна же оз. Кулик изменяется, здесь количество родов инфузорий увеличивается с 20 в 2005 г. до 29 в 2009 г. (коэффициент Жаккара 0,45). Это

свидетельствует о смещении равновесного состояния между процессами эвтрофикации и самоочищения в сторону последнего. Сравнивая же таксономические составы протистофауны оз. Кулик и р. Упа можно сделать вывод об их высоком сходстве (коэффициент Жаккара 0,66).

**Таксономический состав протистофауны р. Тулица, Комаркинского и Клоковского ручьев.** В протистофауне перечисленных водотоков обнаружено 6 родов: *Paramecium*, *Holophrya*, *Lacrymaria*, *Urotricha*, *Colpes*, *Colpidium*, их видовое разнообразие низкое (индекс Шеннона в среднем 1,0), для сравнения в р. Упа: 54 рода *Protozoa*, индекс Шеннона 2,78. Это вызвано перестройкой структуры протистофауны в результате сильного антропогенного воздействия, здесь отмечается низкая численность организмов и преобладание видов с широкой экологической валентностью (например, инфузорий родов *Paramecium*, *Colpidium*).

### 3.1.2. Сезонная динамика биоразнообразия простейших-гидробионтов

В сезонной динамике относительного таксономического (родового) обилия простейших оз. Кулик и р. Упа наблюдается постепенный рост начиная с весны (31,1% – 49,5%) и завершая концом лета, когда оно достигает максимального значения (47,8% – 56,1%). Затем с середины осени происходит постепенное снижение значения этого показателя до его минимального значения (8,5% – 18,3%) в январе-феврале. Таким образом, эти колебания вызваны воздействием температурного фактора, кислородной и трофической обеспеченностью (рисунок 1).

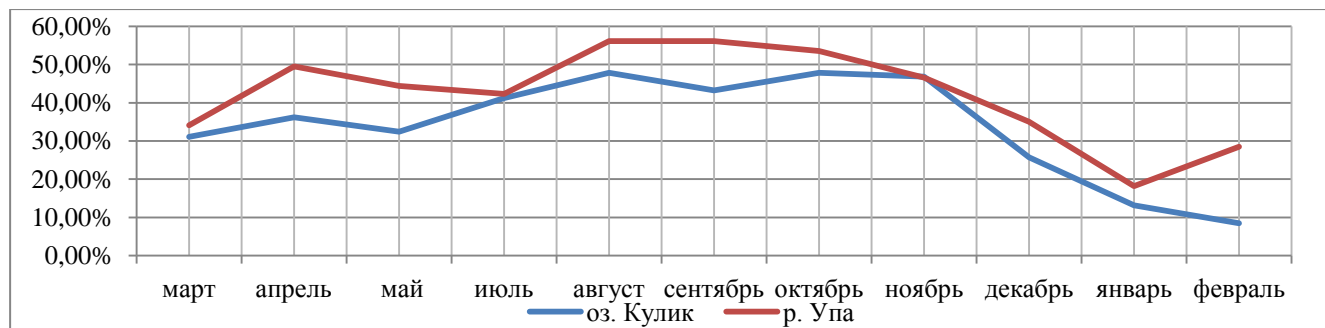


Рисунок 1 – Сезонная динамика относительного таксономического обилия простейших оз. Кулик и р. Упа.

В протистофауне оз. Кулик выявлены доминирующие таксоны: род *Bodo*, *Paramecium*, *Urotricha* (индекс Паляя – Ковнацки от 12,7 до 20,5). Для р. Упа доминирующие таксоны: род *Bodo*, *Chilodontopsis*, *Paramecium*, *Urotricha* (индекс Паляя – Ковнацки от 10,5 до 18,0).

## 3.2. Макрозообентос водных экосистем г. Тула

### 3.2.1. Биоразнообразие макрозообентоса водных экосистем

**Таксономический состав бентофауны р. Упа и р. Воронка.** Исследования донной фауны р. Упа в черте г. Тула в 2011 г. позволили выявить 51 вид макрозообентоса, в р. Воронка – 42 вида. Макрозообентос р. Упа и р. Воронка характеризуется высоким биоразнообразием (выявлено 58 видов макрозообентоса, индекс Шеннона 2,5 – 3,1) и невысокой численностью.



Аналогично в фоновых створах на р. Упа и р. Воронка фауна макрозообентоса включает 48 – 55 видов, индекс Шеннона равен 3,4 – 3,6.

Наибольшим видовым обилием характеризуются насекомые (30 видов – 51,7% относительного видового обилия), среди которых доминируют стрекозы. Личинки насекомых отрядов *Ephemeroptera*, *Megaloptera*, *Trichoptera* и *Coleoptera* представлены в незначительном количестве (1-3 вида), что вызвано низкими концентрациями кислорода в воде. На втором месте находятся моллюски (20 видов – 34,5% относительного видового обилия). В основном это представители Класса *Gastropoda*, что также может быть обусловлено пониженным содержанием кислорода и наличием поллютантов. Данные водотоки имеют признаки закисления поверхностных вод и донных отложений, поскольку в фауне макрозообентоса встречаются семейства отрядов *Odonata* и *Heteroptera*, а также семейства *Sialidae* и *Dytiscidae*, виды, обитающие при пониженных показателях pH.

В пространственном аспекте фауна макрозообентоса р. Упа характеризуется большим сходством (коэффициент Жаккара 0,62), в отличие от р. Воронка (коэффициент Жаккара 0,45). Это обусловлено различной степенью однородности гидрохимических и гидрологических условий среды. Сравнивая же видовой состав фауны макрозообентоса рек Упы и Воронки выявлено высокое сходство (коэффициент Жаккара 0,60).

### 3.2.2. Сезонная динамика биоразнообразия макрозообентоса исследуемых водных экосистем

Для фауны макрозообентоса наибольшие значения относительного видового обилия отмечены для р. Упа в мае-июне (54,3% – 71,0%), а для р. Воронка в июне-июле (50,0% – 70,6%). Скачкообразный характер сезонной динамики в большей степени обусловлен протеканием жизненных циклов амфибиотических насекомых, которые составляют основу макрозообентоса данных водотоков (рисунок 2).

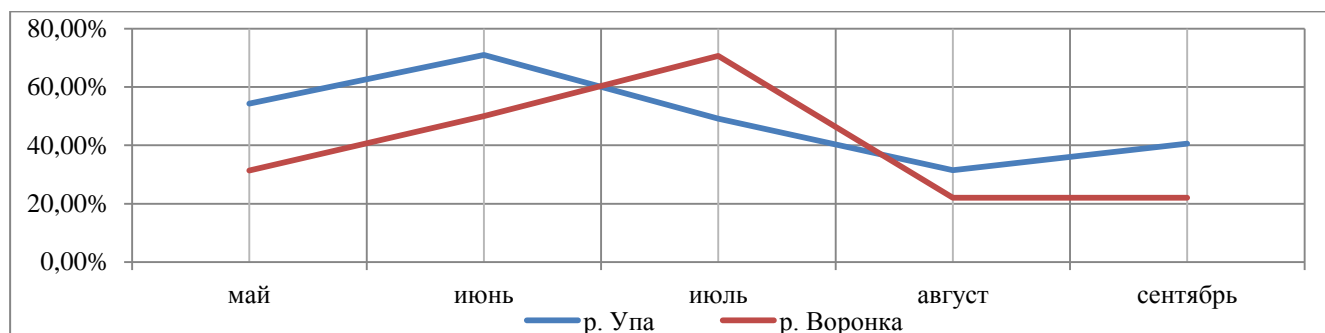


Рисунок 2 – Сезонная динамика относительного видового обилия макрозообентоса р. Упа и р. Воронка.

В фауне макрозообентоса р. Упа и р. Воронка в створах исследования доминирующими видами являются стрекозы. В створах №3, 4 на р. Упа и №6 на р. Воронка – *Coenagrion hastulatum* (индекс Паляя – Ковнацки 10,3 – 17,3), в створе №5 на р. Упа и №8, 9 на р. Воронка

– *Coenagrion puella* (индекс Паляя – Ковнацки 10,6 – 12,3), в створе №7 на р. Воронка - *Calopteryx splendens* (индекс Паляя – Ковнацки 20,2). В створах исследования №1 и 2 на р. Упа доминирующих видов не выявлено.

### **3.2.3. Трофические группы макрозообентоса в водных экосистемах**

В фауне макрозообентоса р. Упа и р. Воронка выявлено 5 трофических групп (по В.А. Яковлеву): собиратели-детритофаги+факультативные фильтраторы (далее детритофаги), собиратели-облигатные фильтраторы (фильтраторы), соскребатели, размельчители и хищники (В.А. Яковлев, 2005). Во всех створах исследования, в том числе и в фоновых, на р. Упа и р. Воронка преобладают хищники (38,8% – 60,0% относительного видового обилия). Равновесие между показателями обилия нехищного и хищного макрозообентоса соответственно смещено в сторону последнего. На втором месте по видовому обилию находятся детритофаги (10,5% – 27,8%), что свидетельствует о высоких концентрациях органического вещества. Преобладание хищников над детритофагами свидетельствует о токсификации и ацидификации водных объектов. А поскольку суммарное значение относительного видового обилия хищников и детритофагов составляет около 70,0%, то в таких водных объектах замедляются процессы разложения органического вещества (Д.М. Безматерных, 2007; В.А. Яковлев, 2005).

## **3.3. Мониторинг водных объектов г. Тула с помощью методов биоиндикации и биотестирования**

### **3.3.1. Оценка сапробности водных объектов г. Тула методом биоиндикации с использованием простейших**

В фауне простейших оз. Кулик и р. Упа обнаружено 40 родов индикаторов, среди них 46,4% относительного обилия индикаторных родов составляют  $\alpha$ -мезосапробы, 33,9% –  $\beta$ -мезосапробы, 17,9% – полисапробы, 1,8% – олигосапробы (представлены 1 родом (*Holophrya*)).

Сезонная динамика индекса сапробности оз. Кулик претерпевает следующие изменения: растет с мая по август от 2,4 до 2,6, а потом постепенно снижается до 2,2 в декабре-январе. Эти колебания обусловлены, главным образом, воздействием температурного фактора, кислородной и трофической обеспеченности простейших. Сезонная динамика индекса сапробности р. Упа характеризуется постоянно высокими значениями  $\beta$ -мезосапробности (2,4 – 2,5) за счет постоянных выпусков промышленных сточных вод (рисунок 3).

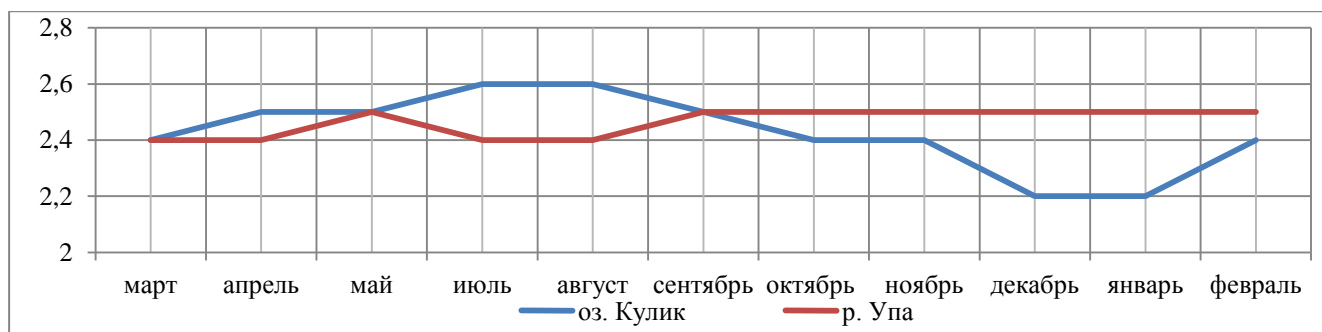


Рисунок 3 – Сезонная динамика значения индекса сапробности оз. Кулик и р. Упа.

Анализ многолетней динамики индекса сапробности оз. Кулик выявил его снижение с 2,5 до 2,4, что может являться показателем процессов самоочищения водоема. Индекс сапробности р. Упа во временном аспекте стабильный и составляет 2,4 – 2,5. Это обусловлено действием процессов, направленных на поддержание равновесия между самоочищением и эвтрофикацией. В среднем индекс сапробности оз. Кулик и р. Упа составляет 2,4 и соответствует классу умеренно загрязненных  $\beta$ -мезосапробных водных объектов. В фоновом створе на р. Упа индекс сапробности составляет 2,2, что также позволяет отнести его к  $\beta$ -мезосапробным.

В протистофауне р. Тулица выявлено 5 индикаторных таксонов. Среди них представители группы  $\alpha$ -мезосапробов (род *Paramecium*, *Urotricha*),  $\beta$ -мезосапробов (род *Colpes*, *Lacrymaria*) и полисапробов (*Holophrya nigricans*). Рассчитанный индекс сапробности в створе исследования на р. Тулица составляет 2,7 и соответствует  $\alpha$ -мезосапробному уровню органического загрязнения. В протистофауне Комаркинского ручья в створе исследования №2 и 4 обнаружено 3 индикаторных таксона (*Paramecium putrinum*, *Colpidium* и *Urotricha farcta*). Данные индикаторные роды относятся к группам  $\alpha$ -мезосапробов и полисапробов. Индекс сапробности в створах исследования №2 и 4 равен 4,0 и 3,7 соответственно, что позволяет говорить о полисапробном уровне органического загрязнения в этих створах. В протистофауне Клоковского ручья выделены представители группы  $\beta$ -мезосапробов (*Urotricha*) и  $\alpha$ -мезосапробов (*Paramecium*). Индекс сапробности составляет 2,7 и соответствует  $\alpha$ -мезосапробному уровню органического загрязнения.

### 3.3.2. Оценка сапробности водных объектов г. Тула методом биоиндикации с использованием макрозообентоса

В фауне макрозообентоса р. Упа выявлен 31 индикаторный таксон сапробности воды, р. Воронка – 26 индикаторов. Среди них в р. Упа и в створе исследования №6 на р. Воронка преобладают брюхоногие моллюски (25,0% – 36,8% относительного обилия индикаторных таксонов), в створах исследования №7, 8 и 9 на р. Воронка – брюхоногие моллюски и стрекозы (по 18,8% – 26,7%). Аналогично и для фоновых створов на этих водотоках.

Сезонная динамика индекса сапробности воды р. Упа и р. Воронка характеризуется постоянно высокими значениями индекса сапробности (от 2,5 до 2,9) за весь период исследования с весны по осень. Это может быть обусловлено воздействием выпусков промышленных сточных вод (рисунок 4).

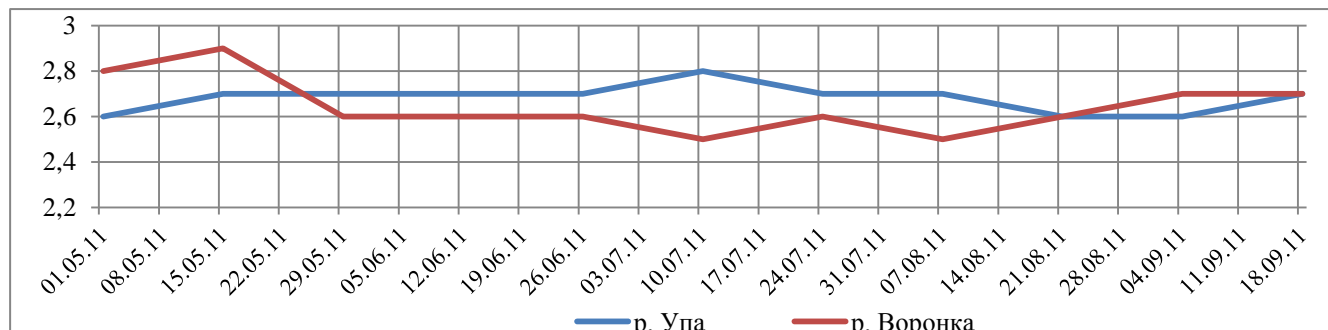


Рисунок 4 – Сезонная динамика значения индекса сапробности р. Упа и р. Воронка.

Значение индекса сапробности для р. Упа и р. Воронка лежит в пределах от 2,6 до 2,7. Максимальное значение этого индекса наблюдается в нижних створах исследования: для р. Воронка – №8 и №9, для р. Упа – №5, что обусловлено аккумуляцией поллютантов, поступивших в водотоки выше по течению. Однако, для р. Упа помимо нижнего створа максимум отмечен и в створе №3. Это можно объяснить воздействием промышленных сточных вод ОАО «Тульский оружейный завод». Для сравнения в фоновых створах данных водотоков индекс сапробности составляет 2,6. Итак, индекс сапробности р. Упа и р. Воронка свидетельствует о существовании  $\alpha$ -мезосапробного уровня органического загрязнения.

### 3.3.3. Оценка токсичности поверхностной воды и донных отложений водных экосистем г. Тула методом биотестирования

В результате биотестирования проб поверхностной воды и донных отложений исследуемых водных объектов с использованием в качестве тест-объекта *Paramecium caudatum* составлена классификация водных объектов по уровню токсичности: 0% – нетоксичные; 1 – 10% – слаботоксичные; 11 – 49% – умеренно токсичные; 50 – 75% – высокотоксичные; 76 – 100% – остротоксичные.

*Реки Упа и Воронка.* В створах исследования №2, №4, №5 на р. Упа и в створах исследования №6, №7, №8 и №9 на р. Воронка и в фоновых створах этих водотоков поверхностная вода и донные отложения не токсичны, в створах исследования на р. Упа: №1 – слаботоксичные (показатель токсичности 9,1%), №3 – умереннотоксичные (показатель токсичности 30,0%). Таким образом, менее благополучными с экологической точки зрения участками на р. Упа являются створы исследования №1 и №3. В ходе химико-аналитических исследований выявлены превышения ПДК по содержанию БПК<sub>полн</sub> в 17,9 раз, сухого остатка в 2,8 раз, показатель рН превышен в 1,14 раз (Методические указания по разработке нормативов качества воды ..., 2009; Нормативы качества воды ..., 2010). Вероятно, что это обусловлено

воздействием выпусков промышленных сточных вод ОАО «Тульский оружейный завод». В связи с тем, что превышения ПДК по неорганическим поллютантам, в том числе тяжелым металлам не обнаружены и на основе полученных результатов в ходе биотестирования можно заключить, что в поверхностной воде в створе исследования №3 на р. Упа содержатся органические вещества, которые вызывают вредное воздействие на живые организмы (БКР<sub>10-24</sub>).

В соответствии с ГОСТ 17.1.3.07-82 и на основе рассчитанного индекса сапробности, по степени загрязненности исследуемая поверхностная вода в р. Упа соответствуют III-IV классу качества воды, в р. Воронка – IV классу качества воды (таблица 1).

*Река Тулица.* В створе исследования №1 на р. Тулица поверхностная вода и донные отложения умеренно токсичные (показатель токсичности 22,2%). В ходе химико-аналитических исследований выявлены превышения ПДК по содержанию ингредиентов: цинка в 9 раз и меди в 5,4 раза [Нормативы качества воды ..., 2010]. По степени загрязненности поверхностная вода в р. Тулица соответствует IV классу качества воды (таблица 2) (ГОСТ 17.1.3.07-82). Очевидно, эти превышения связаны с воздействием промышленных сточных вод ОАО «Тульский патронный завод».

*Комаркинский ручей.* Поверхностная вода и донные отложения Комаркинского ручья в створах исследования высоко- и остротоксичные (показатель токсичности 53,7% – 86,0%). Химико-аналитическими исследованиями зафиксировано экстремально высокое превышение ПДК по содержанию ионов меди в створах исследования №2 и №4 в 64 и 51 раз соответственно (Р 52.24.756 – 2011). Зарегистрировано превышение ПДК по содержанию железа в 11,3-13,9 раз (Нормативы качества воды ..., 2010). Поверхностная вода в данном водотоке относится к V классу качества воды (ГОСТ 17.1.3.07-82). Источниками загрязнения данного водотока являются промышленные сточные воды ФГУП ГНПП «Сплав» и ОАО «Тульский комбайновый завод».

*Клоковский ручей.* Поверхностная вода и донные отложения Клоковского ручья остротоксичные (показатель токсичности 76,0%). Однако химико-аналитические исследования не выявили превышения ПДК по неорганическим поллютантам, в том числе тяжелым металлам. Превышение ПДК обнаружено только по БПК<sub>полн.</sub> – в 2,3 раза (Нормативы качества воды ..., 2010; Методические указания по разработке нормативов качества воды ..., 2009). Превышения ПДК по данным показателям связаны с воздействием промышленных сточных вод ЗАО «Тулаэлектропривод». На основе полученных результатов в ходе биотестирования можно предположить, что в поверхностной воде в створе исследования №1 на Клоковском ручье содержится значительное количество органических веществ, которые губительно воздействуют на *Paramecium caudatum*. Важно, что результаты биотестирования совпали с результатами биоиндикации. Поверхностная вода в водотоке соответствует IV классу качества воды (ГОСТ 17.1.3.07-82).

Для комплексной характеристики исследуемых водных объектов проводился кластерный анализ, в результате чего построена дендрограмма расстояний между классами (рисунки 1,2).

Протистофауна. Анализ дендрограммы показал, что наиболее близки по комплексу показателей объекты Ком-1 и Ком-3 (в основном за счет отсутствия живых организмов). Они объединяются на уровне различий, равном 0,12 (рисунок 5).

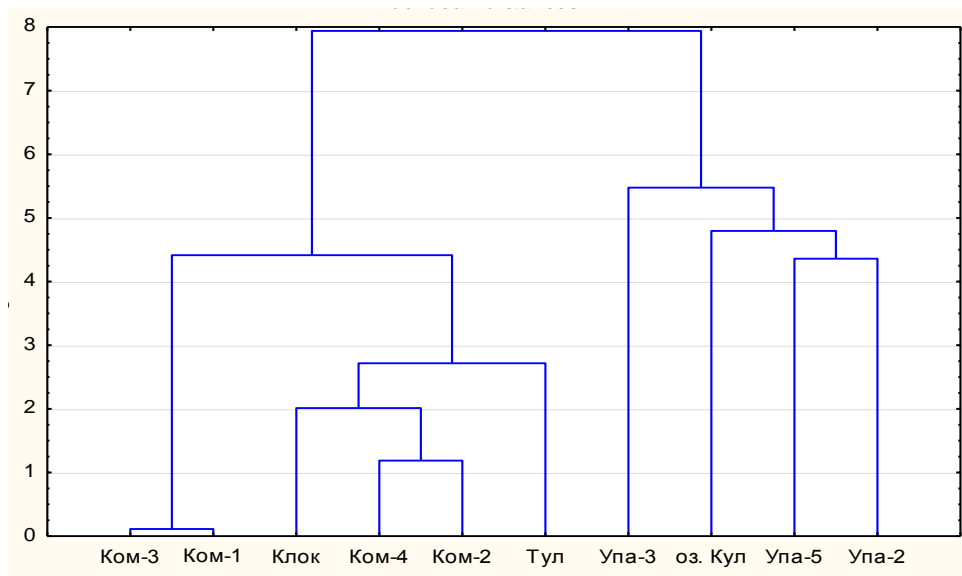


Рисунок 5 – Дендрограмма результата кластерного анализа таксономического сходства и биоразнообразия протистофауны, токсичности и уровня сапробности водных объектов г. Тула. Условные обозначения: Упа-2, Упа-3, Упа-5 – р. Упа, створы исследования №2, 3 и 5 соответственно, оз. Кул – оз. Кулик, Тул – р. Тулица, Клок – Клоковский ручей, Ком-1, Ком-2, Ком-3, Ком-4 –ручей, створы исследования №1, 2, 3 и 4 соответственно.

На уровне 2,75 образуется кластер Тул, Ком-2, Ком-4, Клок (уровень 2,75). Таким образом, на этом уровне происходит объединение в один кластер водных объектов с низкими показателями Комаркинский биоразнообразия (индекс Шеннона 0,6 – 1,5), высоким уровнем сапробности ( $S$  от 2,7 до 4,0), умеренными (22,2%) и высокими уровнями токсичности (53,7 – 71,0%). Далее в один кластер объединяются объекты Ком-1, Ком-3, Тул, Клок, Ком-2, Ком-4 (на уровне 4,2). На следующем этапе приходит формирование кластера Упа-2, Упа-3, Упа-5 и оз. Кул (уровень 5,5). В данном кластере объединяются водные объекты с высоким таксономическим сходством (коэффициент Жаккара 0,66) и биоразнообразием (индекс Шеннона 2,7 – 2,9), нетоксичные, с умеренным уровнем органического загрязнения ( $S$  от 2,4 до 2,5). На этом этапе существуют два кластера. Окончательно все объекты группируются в один кластер при уровне 7,5 (рисунок 1).

Макрозообентос. На уровне 2,43 выявлены наиболее близкие по комплексу показателей объекты, объединенные в два кластера: Упа-1, Упа-3 и Вор-6, Вор-7. Кластер Упа-1 и Упа-3 образовался за счет высокого видового сходства макрозообентоса (коэффициент Жаккара 0,70)

и одинаковых показателей биоразнообразия (индекс Шеннона 3,10), а также наличия токсичности (9,1% – 30,0%). Кластер Вор-6 и Вор-7 образовался в основном за счет высокого уровня сапробности 2,7 (рисунок 6).

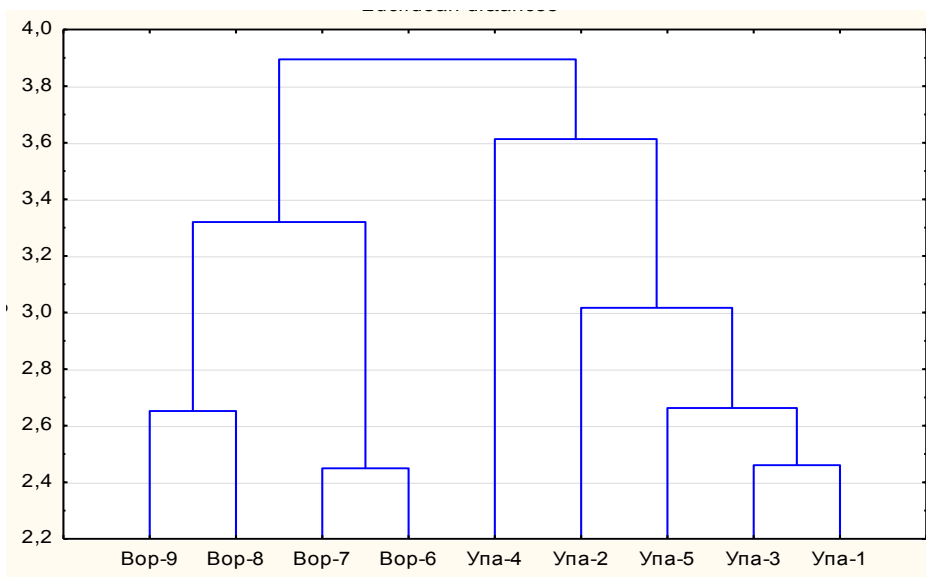


Рисунок 6 – Дендрограмма результата кластерного анализа таксономического сходства и биоразнообразия макрозообентоса, токсичности и уровня сапробности водных объектов г. Тула. Условные обозначения: Упа-1, Упа-2, Упа-3, Упа-4, Упа-5 – р. Упа, створы исследования №1,2, 3, 4 и 5 соответственно, Вор-6, Вор-7, Вор-8, Вор-9 – р. Воронка, створы исследования №6, 7, 8 и 9 соответственно.

На уровне 3,30 образуется кластер Вор-6, Вор-7, Вор-8, Вор-9. На уровне 3,6 формируется кластер Упа-1, Упа-2, Упа-3, Упа-4, Упа-5. На этом уровне существуют два кластера: р. Упа (в створах исследования №1, 2, 3, 4 и 5) и р. Воронка (в створах исследования №6, 7, 8 и 9). Кластер р. Упа сформирован из объектов, имеющих большое сходство по показателям: видового сходства (коэффициент Жаккара составляет 0,62), биоразнообразия (индекс Шеннона в среднем составляет 3,06), уровня сапробности (2,6 – 2,7). В кластер р. Воронка входят объекты, сходные по показателям: биоразнообразия (индекс Шеннона 2,7), уровня сапробности (2,6 – 2,7) и токсичности (0%). Затем, при уровне 3,9 наблюдается объединение всех объектов (рисунок 2).

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате исследования сезонной динамики таксономической и трофической структуры протистофауны и макрозообентоса, а также сапробиологического анализа и биотестирования среды обитания, получены данные, позволяющие сделать выводы о различиях в экологическом качестве вод и донных отложений исследованных водных объектов (от

умеренно загрязненных до сильно загрязненных). Эти различия в градации экологического качества по разным группам показателей, в частности, индексам биоразнообразия, сапробности, токсичности, не всегда совпадают, что, видимо, обусловлено различиями в составе химических поллютантов и природными особенностями биотопов. Полученные результаты дополняют современные представления о необходимости сочетания данных биоиндикационных, химико-аналитических и экотоксикологических исследований при оценке экологического качества природных сред и, в частности, рисков воздействия промышленных предприятий на водные объекты. Примером такого подхода может служить метод Триад (Triad approach) (В.А. Терехова, 2014; Р.М. Chapman, 2002; А.А. Dagnino, 2008).

## ВЫВОДЫ

1. Водные объекты г. Тула по показателям биоразнообразия и численности протистофауны и макрозообентоса выделены в 2 группы: экосистемы с высокими показателями биоразнообразия и низкой численностью организмов (р. Упа и оз. Кулик – 54 рода *Protozoa*, р. Упа и р. Воронка – 58 видов макрозообентоса, индекс Шеннона 2,7 – 3,1; в фоновых створах водотоков он равен 2,8 – 3,6) и экосистемы с низкими показателями биоразнообразия и низкой численностью (р. Тулица, Комаркинский и Клоковский ручьи от 2 до 5 родов *Protozoa*, индекс Шеннона 0,6 – 1,5).

2. Значительное сходство таксономического состава простейших отмечено для р. Упа и оз. Кулик (коэффициент Жаккара ( $C_j$ ) 0,66), макрозообентоса – для р. Упа и р. Воронка ( $C_j = 0,60$ ). Минимальное сходство отмечено для фауны простейших р. Упа и Клоковского ручья ( $C_j = 0,03$ ), а также Клоковского ручья и оз. Кулик ( $C_j = 0,04$ ), что обусловлено разными экологическими условиями (абиотическими, гидрологическими и антропогенными).

3. В трофической структуре макрозообентоса на р. Упа и р. Воронка (как и в фоновых створах) выявлено 5 трофических групп, среди которых по относительному видовому обилию преобладают хищники (38,8% – 60,0%) и детритофаги (10,5% – 27,8%), что свидетельствует о высоком содержании органических веществ и наличии процессов ацидификации и токсификации.

4. Наибольшие значения относительного таксономического обилия и численности протистофауны оз. Кулик и р. Упа с августа по октябрь (47,8% – 56,1%) обусловлены оптимальным температурным режимом, кислородной и трофической обеспеченностью, а макрозообентоса р. Упа и р. Воронка в мае-июле (38,2% – 71,0%) – протеканием жизненных циклов амфибиотических насекомых.



5. По уровню органического загрязнения исследуемые водные объекты объединены в 3 группы:

- 1)  $\beta$ -мезосапробные – р. Упа, 2007 – 2009 гг. и оз. Кулик ( $S = 2,4$ );
- 2)  $\alpha$ -мезосапробные – р. Тулица, р. Упа, 2011 г., р. Воронка, Клоковский ручей ( $S = 2,6 - 2,7$ );
- 3) полисапробные – Комаркинский ручей ( $S = 3,7 - 4,0$ ). С возрастанием уровня сапробности происходит снижение таксономического обилия и простейших, и представителей макрозообентоса.

6. По индикаторным таксонам простейших в оз. Кулик высокие показатели уровня  $\beta$ -мезосапробности с марта по ноябрь ( $S = 2,4 - 2,6$ ) зависят от температурного фактора, трофической и кислородной обеспеченности. В р. Упа постоянно высокие значения  $\beta$ -мезосапробности (до  $S = 2,5 - 2,6$ ) обусловлены выпусками промышленных сточных вод. По индикаторным видам макрозообентоса в р. Упа и р. Воронка постоянно высокие значения индекса сапробности (до  $S = 2,9 - 3,0$ ) также вызваны воздействием промышленных сточных вод.

За весь период исследования отмечено снижение уровня сапробности оз. Кулик (индекс сапробности от 2,5 до 2,4), что свидетельствует об изменении условий обитания для индикаторных организмов под воздействием процессов самоочищения. Для р. Упа уровень сапробности стабильный.

7. В результате биотестирования исследуемых водных объектов выявлены нетоксичные (р. Упа и р. Воронка, в том числе в фоновых створах, показатель токсичности 0%); слабо- и умереннотоксичные (р. Упа, в створах исследования №1 и №3, р. Тулица, показатель токсичности 9,1%, 30,0% и 22,2% соответственно) и высоко- и остротоксичные (Комаркинский и Клоковский ручьи, показатель токсичности 50,0 – 86,0%) водные объекты.

#### **Список работ, опубликованных по теме диссертации Публикации в изданиях, рекомендованных ВАК:**

1. Булухто, Н.П. Дигрессия и возможные пути восстановления экосистемы Комаркинского ручья (Тульская область) / Н.П. Булухто, В.Л. Домнина, А.А. Короткова, В.А. Терехова // **общественно-научный журнал Проблемы региональной экологии**, 2012. – Вып. №2. – С. 147 – 152.

2. Булухто, Н.П. Вода в колодце на Комаркинском ручье (п. Комарки г. Тула) – угроза здоровью населения поселка / Н.П. Булухто, В.Л. Домнина, А.А. Короткова, В.А. Терехова // **Вестник новых медицинских технологий**, 2012. – Т. XIX., Вып. №1, Актуальные вопросы теории и практики медицины. – С. 11-13.

3. Домнина, В.Л. Экологическая оценка состояния поверхностных вод в техногенных зонах [Электронный ресурс] / В.Л. Домнина, А.А. Короткова, Н.П. Булухто // **Вестник новых медицинских технологий**, 2014. – Т. VIII., Вып. №1. – Режим доступа – <http://www.medtsu.tula.ru/VNMT/Bulletin/E2014-1/00.html>

#### Публикации в других изданиях:

4. Буркина, В.Л. Простейшие-индикаторы сапробности воды / В.Л. Буркина (Домнина) // Молодежь и наука – третье тысячелетие : материалы студенческой науч.-практ. конф.: в 2 ч. – Тула: Изд-во Тул. гос. пед. ун-та им. Л.Н. Толстого, 2009. – Ч. 1. – С. 56 – 57.

5. Короткова, А.А. Биоиндикация сапробности р. Упа / А.А. Короткова, В.Л. Буркина (Домнина), Р.О. Бутовский // Экологически устойчивое развитие. Рациональное использование природных ресурсов. Междунар. науч.-практич. семинар / под общ. ред. Э.М. Соколова. – Тула: Изд-во Инновационные технологии, 2010. – С.70 – 72.

6. Буркина, В.Л. Биоиндикация и биотестирование воды и донных отложений Комаркинского ручья / В.Л. Буркина (Домнина) // Сборник материалов V Региональной научно-практической конференции аспирантов, соискателей и молодых ученых Исследовательский потенциал молодых ученых: взгляд в будущее / отв. ред. О.Г. Вронский. – Тула: Изд-во Тул. гос. пед. ун-та им. Л.Н. Толстого, 2011. – С. 41 – 44.

7. Буркина, В.Л. Биотестирование воды и донных отложений загрязненных биотопов Комаркинского ручья / В.Л. Буркина (Домнина) // Сборник материалов Международной конференции Окружающая среда и человек: враги или друзья?. – Пушино, 2011 г. – С. 55.

8. Буркина, В.Л., Короткова, А.А. Биоиндикация и биотестирование р. Упа в створ сброса промышленных сточных вод / В.Л. Буркина (Домнина), А.А. Короткова // Экология речных бассейнов : Труды 6-й Международной научно-практической конференции / Владимирский государственный университет им. А.Г. и Н.Г. Столетовых / под общей редакцией проф. Т.А. Трифионовой. – Владимир, 2011. – С. 373 – 376.

9. Булухто, Н.П. Биоиндикация и биотестирование воды р. Тулица в зоне влияния промышленных сточных вод / Н.П. Булухто, В.Л. Домнина, А.А. Короткова // Экологическое образование для устойчивого развития в условиях реализации Федеральных государственных образовательных стандартов : материалы Международной научно-практической конференции (11-12 октября 2011 г.) / под. ред. Е.А. Гриневой. – Ульяновск: УлГПУ, 2011. – С. 442 – 446.

10. Булухто, Н.П. Биоиндикация и биотестирование р. Упа в черте г. Тула / Н.П. Булухто, В.Л. Домнина, А.А. Короткова // Тульский экологический бюллетень. – Тула: Гриф и К, 2013. – С.129 – 135.

Подп. в печать \_\_\_\_\_.\_\_\_\_.2015.  
Формат 60×90/16. Бумага офсетная  
Усл. печ. л. 1. Тираж 100 экз. Заказ № \_\_\_\_\_

---

Отпечатано с готового оригинал-макета в типографии Гриф и Ко  
300062, г. Тула, ул. Октябрьская, 81Б.