

На правах рукописи



ИВИЧЕВА КСЕНИЯ НИКОЛАЕВНА

**ЗООБЕНТОС ПРИТОКОВ ВЕРХНЕЙ СУХОНЫ
В УСЛОВИЯХ АНТРОПОГЕННОГО ВЛИЯНИЯ НА ИХ ВОДОСБОРЫ**

03.02.10 – гидробиология

Автореферат

диссертации на соискание учёной степени

кандидата биологических наук

Борок – 2019

Работа выполнена в Санкт-Петербургском филиале федерального государственного бюджетного научного учреждения «Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии» («ГосНИОРХ» им. Л.С.Берга»)

Научный руководитель: кандидат биологических наук, старший научный сотрудник, Вологодский филиал федерального государственного бюджетного научного учреждения «Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии» («ВологодНИРО», г. Вологда)

ФИЛОНЕНКО Игорь Владимирович

Официальные оппоненты: доктор биологических наук, доцент, заместитель директора по научной работе, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт водных и экологических проблем Сибирского отделения Российской академии наук (ИВЭП СО РАН, г. Барнаул)

БЕЗМАТЕРНЫХ Дмитрий Михайлович

кандидат биологических наук, старший научный сотрудник лаборатории экологии рыб и водных беспозвоночных, Институт биологии – обособленное подразделение Федерального государственного бюджетного учреждения науки Федерального исследовательского центра «Карельский научный центр Российской академии наук» (ИБ КарНЦ РАН, г. Петрозаводск)

БАРЫШЕВ Игорь Александрович

Ведущая организация: Институт биологии Коми научного центра Уральского отделения Российской академии наук (ИБ Коми НЦ УрО РАН, г. Сыктывкар)

Защита состоится «19» ноября 2019 г. в 10 часов на заседании диссертационного совета на базе Д002.036.02 при Федеральном государственном бюджетном учреждении науки Институте биологии внутренних вод им. И.Д. Папанина Российской академии наук по адресу: 152742, Ярославская область, Некоузский район, п. Борок, д. 109. Тел.: +7(48547)24042, e-mail: dissovet@ibiw.yaroslavl.ru

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Института биологии внутренних вод им. И.Д. Папанина РАН по адресу: п. Борок, Ярославская область, Некоузский район, д. 109 и в сети Интернет на сайте <http://www.ibiw.ru>

Автореферат разослан « ____ » _____ 2019 г.

Учёный секретарь
диссертационного совета,
доктор биологических наук



Л.Г. Корнева

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования. В современных реалиях наблюдается увеличение антропогенной нагрузки на водные экосистемы. Водоёмы, расположенные вблизи населённых пунктов, являются объектами многоцелевого использования, в том числе источниками водоснабжения и объектами рекреации. Рациональное использование и охрана водоёмов невозможны без знания особенностей функционирования их экосистем.

Выделяют четыре глобальные группы угроз водным ресурсам (Vörösmarty et al., 2010): нарушение водосборов, загрязнение водотоков, использование водных ресурсов (изъятие и сброс сточных вод, нарушение гидрологического режима), биотические факторы (инвазии, воздействие аквакультурных хозяйств). Наибольшее влияние уделяется прямому загрязнению. В то же время водный объект и его водосбор являются единой экологической системой. Антропогенная нагрузка на водосборе непосредственно отражается на экологическом состоянии водного объекта (Андрианова, 2005; Carle et al., 2005; Smith, Lamp, 2008; Weixin et al., 2012; Kim et al., 2016; Kuzmanovic et al., 2016). Наибольшее негативное влияние оказывает степень урбанизации водосбора и связанный с ним параметр плотность населения.

Наилучшим объектом для биоиндикации является зообентос, так как большинство организмов отличается длительными жизненными циклами и биотопической привязанностью (Баканов, 2000; Шуйский и др., 2002). Данная группа широко используется для анализа экологического состояния водоёмов и водотоков в нашей стране и в мировой практике (Балушкина, 2002; Зинченко, 2004; Безматерных, 2008; Lock et al., 2011; Kuzmanovic et al., 2015). Работы, оценивающие влияние нарушения водосборов на сообщества зообентоса, в нашей стране единичны (Батурина и др., 2017). В то же время в мировой практике широкое применение получила оценка влияния хозяйственной деятельности на водосборе на сообщества зообентоса и качество вод (Wang, Kanehl, 2003; Smith, Lamp, 2008; Cuffney et al., 2010; Weixin et al., 2012; Lakew, Moog, 2015).

Информация о донных сообществах рек Вологодской области фрагментарна (Филиппов, 2010). Наиболее изучен бассейн р. Сухона (Отчёт ..., 1992), однако исследования проводились только на наиболее крупных её притоках. Сухона является крупнейшей рекой Вологодской области. В ходе предыдущих исследований были получены лишь отрывочные данные о структуре и динамике её бентосных сообществ. Наибольшая антропогенная нагрузка приходится на бассейн Верхней Сухоны (верхний участок р. Сухона): здесь расположены крупные промышленные центры (гг. Вологда, Сокол, Кадников), вблизи городов ведётся активная распашка территории. Сама река и её притоки, особенно в верхнем течении, являются источниками питьевой воды, а также используются как рекреационные зоны, хотя именно здесь сосредоточены наиболее «грязные» из немногих изученных в гидрохимическом отношении водотоков области (р. Вологда).

Для управления водными биоресурсами следует учитывать весь спектр факторов антропогенной нагрузки и применять комплексный подход, включающий и характеристику водосбора. Таким образом, фрагментарная изученность зообентоса Вологодской области, высокая степень антропогенной нагрузки на гидробиоценозы водотоков региона, а также потребность в получении современных данных о связях в системе «водосбор–водный объект» придают актуальность настоящей работе.

Цель работы – оценка уровня антропогенной нагрузки на водосборе, её влияния на сообщества зообентоса и качество вод притоков Верхней Сухоны.

Для достижения поставленной цели определены следующие **задачи**:

1) количественно оценить антропогенную нагрузку на водосборы рек и изучить ее влияние на основные гидрохимические параметры речных вод, определяющие их качество;

2) определить видовой состав, количественные характеристики и структуру сообществ зообентоса;

3) оценить экологическое состояние рек методами биоиндикации;

4) определить связь характеристик зообентоса и его биоиндикационных показателей с различными формами антропогенной нагрузки на водосборах.

Научная новизна. Впервые для фауны Вологодской области отмечено 24 вида донных макробеспозвоночных (2 – Gastropoda, 8 – Bivalvia, 4 – Ephemeroptera, 1 – Odonata, 6 – Trichoptera, 3 – Chironomidae). Установлено, что водосборы исследованных рек при приближении к областному центру характеризуются уменьшением лесистости, увеличением их распаханности, степени урбанизации и плотности населения. В реках в 6 раз возрастает индекс загрязнения вод, в 6 раз снижается число видов донных макробеспозвоночных. В структуре сообществ сокращается доля амфибиотических насекомых в общей численности (с 74 до 3%) и биомассе (с 85 до 6%), доля моллюсков в общей численности (с 19 до 0,2%), увеличивается доля олигохет в общей численности (с 18 до 87%) и биомассе (с 2 до 93%). Установлено, что индексы, оценивающие качество вод по зообентосу, достоверно коррелируют со степенью урбанизации.

Теоретическая значимость. Работа вносит вклад в развитие гидробиологии и экологии в области изучения речных водосборов в условиях разной степени антропогенной нарушенности с использованием бентосных сообществ как индикаторов антропогенного пресса. Показано, что увеличение плотности населённых пунктов и населения на водосборе вызывает упрощение донных сообществ рек в направлении доминирования олигохет – индикаторов загрязнения.

Практическая значимость. Полученные данные могут быть использованы для оптимизации подходов к проведению экологического мониторинга водотоков. Информация о количественных показателях зообентоса может применяться при расчёте вреда водным биоресурсам и ущербу водным экосистемам. Отдельные разделы работы могут быть использованы в рамках вузовской программы при подготовке и проведении занятий по отдельным гидробиологическим, экологическим и зоологическим дисциплинам (в том числе «Экология водных экосистем», «Экологический мониторинг», «Биоиндикация и биотестирование», «Био-

разнообразии экосистем и ландшафтов Вологодской области», «Флора и фауна Вологодской области», «Геоинформационные системы» и др.).

Основные положения, выносимые на защиту:

1) Установлено, что при низкой скорости течения происходит перестройка сообществ зообентоса в сторону доминирования олигохет, хирономид и моллюсков. При увеличении антропогенной нагрузки наблюдается снижение видового богатства и увеличение доминирования олигохеты *Limnodrilus hoffmeisteri*.

2) При увеличении плотности населения и населённых пунктов на водосборе уменьшается видовое богатство зообентоса, изменяется структура сообществ (выпадают сначала амфибиотические насекомые, потом моллюски и хирономиды), ухудшается качество вод, оцененное по зообентосу.

Личный вклад соискателя. Автор лично осуществлял отбор гидрохимических и гидробиологических проб, проводил камеральную обработку проб зообентоса и установление видовой принадлежности организмов, осуществлял анализ полученных данных, обработку снимков дистанционного зондирования Земли. Лично соискателем написана рукопись диссертации; основные результаты опубликованы (результаты междисциплинарных исследований подготовлены и опубликованы в совместных с их участниками работах и сопровождаются в тексте диссертации ссылками). Использование фондовых материалов оговорено в соответствующих разделах диссертации.

Апробация работы. Основные положения диссертационной работы докладывались на семинарах Вологодского филиала ФГБНУ «ВНИРО», а также были представлены в виде устных докладов на 9 научных собраниях регионального, всероссийского и международного уровня: 1) конференция с международным участием со школой-семинаром молодых учёных по изучению хирономид (Diptera, Chironomidae) «Экология малых рек в XXI веке: биоразнообразие, глобальные изменения и восстановление экосистем» (Тольятти, 2011); 2) V ежегодная научная сессия аспирантов и молодых учёных по отраслям (Вологда, 2011); 3) Тринадцатая межрегиональная научная студенческая конференция «Российское законодательство: современное состояние и перспективы развития» (Вологда, 2011); 4–5) Международный молодёжный научный форум «Ломоносов–2013» (Москва, 2013) и «Ломоносов–2017» (Москва, 2017); 6–7) Всероссийская научно-техническая конференция «Вузовская наука – регионам» (Вологда, 2013, 2016); 8) II Всероссийская научная конференция «Рыбохозяйственные исследования на внутренних водоёмах» (Санкт-Петербург, 2016); 9) III Central European Symposium Aquatic Macroinvertebrates Research (Лодзь, Польша, 2018).

Публикации. Результаты исследований опубликованы в 20 научных работах, из них 7 – в изданиях, рекомендованных ВАК РФ при защите кандидатских диссертаций (включая 1 статью в журнале, индексируемом Web of Science Core Collection).

Структура и объём работы. Диссертация состоит из введения, 7 глав, выводов, списка сокращений и условных обозначений, списка литературы. Работа представлена на 142 страницах. Иллюстративный материал содержит 19 таблиц, 56 рисунков. Список литературы содержит 257 источников, из которых 66 – на иностранных языках.

Благодарности. Благодарю к.б.н. Д.А. Филиппова (ИБВВ РАН) за постоянную помощь и ценные советы на всех этапах работы и научного руководителя – к.б.н. И.В. Филоненко («ВологодНИРО»). Особую признательность выражаю всем, помогавшим в реализации моих диссертационных изысканий, сотрудникам «ВологодНИРО», а также к.б.н. Ю.А. Зуеву («ГосНИОРХ» им. Л.С.Берга») за помощь с обработкой данных. Выражаю благодарность д.б.н., проф. А.В. Крылову и д.б.н. В.И. Лазаревой (ИБВВ РАН) за ценные советы на этапе завершения подготовки рукописи. За помощь в определении Mollusca благодарю к.б.н. А.А. Фролова (ММБИ КНЦ РАН) и к.б.н. И.О. Нехаева (СПбГУ). За моральную поддержку выражаю благодарность А.Л. Нечепуренко, семьям Секаревых, Колесовых, Лавровых.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Глава 1. ЗООБЕНТОС РЕК В УСЛОВИЯХ АНТРОПОГЕННОГО ВЛИЯНИЯ

В данной главе рассматривается изменение сообществ зообентоса водотоков при разных типах антропогенной нагрузки. В случае зарегулирования русла сообщества зообентоса приобретают лимнофильный характер. Показано изменение видового богатства и разнообразия при разных типах загрязнения (эвтрофирование, ацидификация, токсификация, загрязнение нефтепродуктами, пестицидами). Город является источником комплексного загрязнения, что негативно отражается на структуре донных сообществ. Представлено применение водосборного подхода к оценке экологического состояния водотоков. Проанализирована роль болот, лесов, сельскохозяйственных угодий и урбанизированных территорий на водосборе и их влияние на сообщества зообентоса.

Глава 2. ХАРАКТЕРИСТИКА РАЙОНА И ОБЪЕКТОВ ИССЛЕДОВАНИЙ

Приводится физико-географическая характеристика района исследования, а также описаны гидрологические и гидроморфологические особенности водотоков. Состоит из двух разделов: описания изучаемой территории и характеристик отдельных водотоков.

Глава 3. МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Отбор проб проводился в 2010–2013 гг. на 10 станциях 6 рек. На реке Вóлогде расположено 5 станций, на реках Лóсте, Лúхте, Кóмье, Чёрном Шíнгаре и Белом Шíнгаре – по 1 (рис. 1). Каждая станция представляла собой участок реки длиной около 5 м, включающий рипаль и медиаль. Пробы отбирались на всех представленных грунтах (от 3 до 6 проб на станции). В дальнейшем для каждой станции все отобранные в один сезон пробы объединялись и анализировались средние величины показателей. Отбор проб осуществлялся по стандартной гидробиологической методике (Методические ..., 1983): на каменистых грунтах путём промывки камней через газ, в остальных случаях дночерпателем Гр-91 с площадью захвата 0,007 м², каждая проба состояла из трёх выемок грунта. В 2010 г. пробы отбирались на р. Вологда в мае, на остальных реках – в апреле,

в 2011 г. – на р. Вологде в мае и августе, на остальных реках в апреле, в 2012 г. – в августе только на р. Вологда, в 2013 г. – в апреле (кроме р. Вологда), в начале и в конце мая, в июне (только р. Вологда), июле, в конце августа и в середине октября. Использовался газ с ячейёй 200 мкм. На р. Вологда станция 2б расположена выше плотины, 1в–1д – ниже плотины (табл. 1). В силу низинного характера рельефа и подпора от р. Сухона течение на участке ниже плотины (как и в водохранилище) в меженный период отсутствует. Слабый перепад высот в пределах Присухонской низины и подпор от р. Сухона также оказывают влияние на скорость течения. Соответственно, на станциях 1б–1д и 2–5 отмечается осадконакопление: заиление и накопление детрита. Всего было собрано и обработано 292 пробы зообентоса, из них на р. Вологда – 180, на малых реках – 112.

Идентификация организмов до вида осуществлялась по определительным ключам (Панкратова, 1970, 1983; Определитель ..., 1977, 1994, 1997, 1999, 2001, 2016; Чертопруд, Чертопруд, 2010). Видовые списки *Gastropoda* и *Bivalvia* были любезно предоставлены к.б.н. И.О. Нехаевым (СПбГУ) и к.б.н. А.А. Фроловым (ММБИ КНЦ РАН) – соответственно. Систематика организмов бентоса приведена с учётом последней ревизии и названия видов выверены по определителям под редакцией С.Я. Цалолихина. В случае невозможности идентификации организма до вида, определение производилось до наименьшего определяемого таксона.

В октябре 2013 г. собраны пробы воды на физико-химический анализ, который проводился в Аккредитованной испытательной лаборатории Федерального государственного учреждения государственного центра агрохимической службы «Вологодский» (аттестат аккредитации № РОСС RU.0001.21ПЧ08). Всего было проанализировано 10 проб по 25 показателям. На основании полученных гидрохимических показателей рассчитывался индекс загрязнения воды (ИЗВ) (Шитиков и др., 2005).

Для оценки антропогенной деятельности на водосборы рек определялась плотность населения и площади территорий, занятые лесами, сельскохозяйственными угодьями и урбанизированными территориями. Построение полигонов водосборных бассейнов и участков бассейнов до станций отбора проб проводилось инструментами группы Hydrology ArcGis на основе данных Shuttle radar topographic mission (SRTM) (Jarvis et al., 2008). На основании данных переписи населения рассчитывалась плотность населения в пределах водосбора для каждой станции. Для оценки различий в антропогенной нагрузке разных территорий проводилось тематическое дешифрирование данных дистанционного зондирования Земли методами автоматизированной и визуальной классификаций.

Для оценки экологического состояния водотоков рассчитывались индексы Гуднайта-Уитли (Goodnight, Whitley, 1961), Шеннона, Маргалефа (Песенко, 1982), сапробности Пантле и Букк в модификации Сладечека (Pantle, Buck, 1955; Sladecsek, 1973, Щербина, 2010), Trent Biotic Index (TBI) (Woodiwiss, 1964), Belgian Biotic Index (BBI) (DePauw, 1993). Для определения сходства видового состава сообществ рассчитывали индекс Жаккара (Песенко, 1982). Построение кластеризации станций по видам осуществлялось на основании индекса Брея-Кёртиса с использованием среднесезонной численности видов. Ординацию данных по численности бентоса проводили на основании трансформированных через

корень квадратный матриц с помощью многомерного шкалирования. Статистическая и графическая обработка материалов исследования проведена с помощью Microsoft Excel 2007 и прикладного пакета биологической статистики PAST v. 3.17. Связь между показателями определялась с помощью коэффициента корреляции Спирмена.

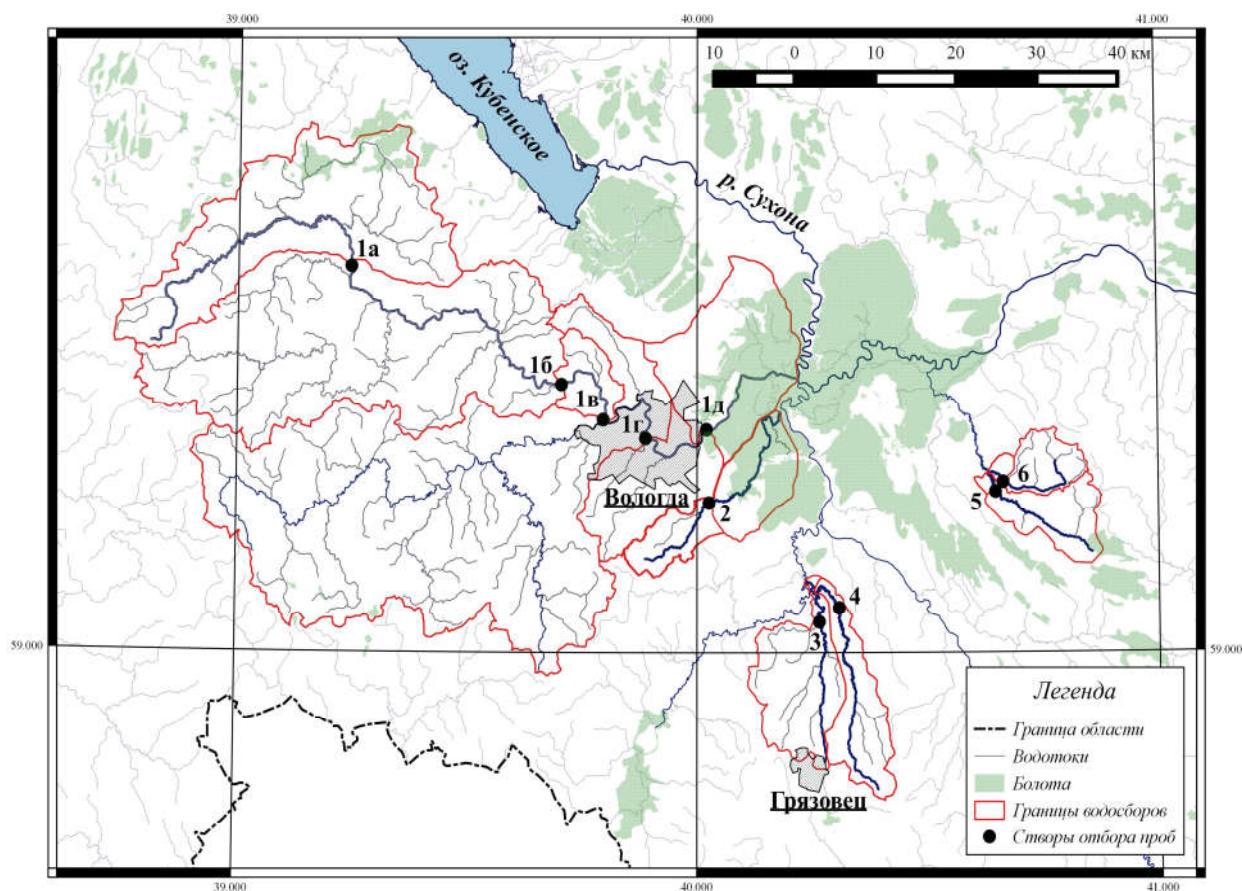


Рис. 1. Станции отбора проб на притоках Верхней Сухоны: р. Вологда: **1а** – верховья, **1б** – водохранилище, **1в** – ниже плотины, **1г** – центр города, **1д** – ниже города; **2** – Лоста; **3** – Лухта; **4** – Комья; **5** – Чёрный Шингарь; **6** – Белый Шингарь

Таблица 1. Характеристики станций отбора проб

№	Р, км	К, км	В, км	Н, м	V, м/с	Грунт	Ландшафт
1а	101,2	54,2 в	13	0,3–1	0,4	крупный песок, гравий, валуны	В-Г
1б	57,8	10,8 в	42	0,5–5	0,01	заиленный песок	В-Г
1в	46,2	0,8 н	36	0,5–3,5	0,01	заиленный песок	В-Г
1г	32,4	14,6 н	70	0,5–4	0,01	песок, ил, детрит	Пс
1д	16,3	30,7 н	90	0,5–3	0,01	ил, детрит	Пс
2	23,4	5,9 н	3–4	0,5–1,2	0,01	ил, детрит	В-Г – Пс
3	10,0	–	3–5	0,2–1	0,01	песок, детрит	В-Г – Пс
4	7,8	–	4–5	0,3–1	0,01	песок, детрит	В-Г – Пс
5	3,8	–	3–5	1–1,5	0,01	ил, детрит	Пс
6	3,2	–	2,5–3,5	0,2–0,6	0,4	песок	Ав

Примечание. № – порядковые номера водотоков и станций, принятые в настоящей работе (см. рис. 1); Р – расстояние до устья; К – расстояние от плотины до створа (в – станция выше по течению, н – станция ниже по течению); В – ширина водотока; Н – глубина; V – скорость течения в период межени. Ландшафты: В-Г – Вологодско-Грязовецкая возвышенность; Пс – Присухонская низина; Ав – возвышенность Авнига.

Глава 4. ОЦЕНКА ВОДОСБОРОВ РЕК ПРИ ПОМОЩИ ГИС-ТЕХНОЛОГИЙ

Считается, что наибольшее негативное влияние на качество вод оказывает степень урбанизации водосбора (Vörösmarty et al., 2010). Для территории Вологодской области степень урбанизации территории в десятки раз ниже, чем для Европы, Америки и Азии (Природа ..., 2007, McDonald, 2008). Так как непроницаемые для стока поверхности (Impervious surfaces), характеризующие степень урбанизации, присутствуют не на каждом водосборе, в данном исследовании мы старались наиболее полно учесть все населённые пункты, расположенные на территории водосборов. В таблице 2 приводятся данные по доле на водосборе населённых пунктов, полученные путём визуального дешифрирования. Результаты автоматизированного и визуального дешифрирования в целом схожи. Помимо этого, производился расчет плотности населения – как наиболее близкого к степени урбанизации параметра. Плотность населения и доля на водосборе населённых пунктов показывают достоверную положительную корреляционную связь (0,84).

Таблица 2. Результаты экологической оценки водосборов до станций отбора проб при помощи визуального дешифрирования

Река, станция		Плотность населения, чел./км ²	Визуальное дешифрирование				
			Б, %	Л, %	НЗ, %	ЭС, %	НП, %
Вологда	1а	1,76	6,9	65,8	6,7	19,4	1,2
	1б	11,04	2,6	64,4	6,4	24,1	2,5
	1в	13,44	2,5	62,7	6,3	25,4	3,1
	1г	78,18	1,4	60,4	6,8	25,9	5,5
	1д	130,53	1,4	57,3	7,3	26,4	7,7
Лоста, 2		29,91	–	35,0	1,6	57,4	6,0
Лухта, 3		16,71	–	45,8	3,5	46,1	4,6
Комья, 4		0,98	–	59,3	4,4	35,3	1,0
Чёрный Шингарь, 5		0,81	3,9	76,7	7,2	11,8	0,4
Белый Шингарь, 6		5,36	–	57,5	9,6	29,9	3,0

Примечание: Доли на водосборе: Б – болота, Л – леса, НЗ – нарушенные земли, ЭС – эксплуатируемые сельскохозяйственные угодья, НП – населённые пункты.

На участках водосборов р. Вологда вниз по течению уменьшается доля лесов, увеличивается доля сельскохозяйственных угодий и населённых пунктов (табл. 2, рис. 2). На водосборе вместе с долей населённых пунктов увеличивается также плотность населения. Для малых рек плотность населения на водосборе и доля населённых пунктов и сельскохозяйственных угодий увеличиваются при приближении к областному центру, доли лесов, наоборот, уменьшаются.

Согласно группировке станций методом многомерного шкалирования, по степени освоённости все водосборы достоверно делятся на три группы (рис. 3).

1) Водосборы со слабой нагрузкой. В данную группу попали водосборы рек Вологда (в верховьях, в водохранилище, и сразу ниже плотины), Комья, Белый Шингарь, а также р. Чёрный Шингарь, водосбор которой в целом стоит несколько особняком как наименее освоённый.

2) Водосборы с преобладанием сельскохозяйственных угодий. К ним относятся водосборы рек Лоста (2) и Лухта (3). Так как доля нарушенных территорий на водосборе составляет более 40%, экологическое равновесие на данных водосборах нарушено (Реймерс, 1994).

3) Урбанизированные водосборы. Это водосборы р. Вологда в центре (1г) и ниже города (1д). Экологическое равновесие на грани нарушения, т.к. доля нарушенных территорий составляет более 40%. Населённые пункты (в отличие от предыдущих групп) представлены городской территорией.

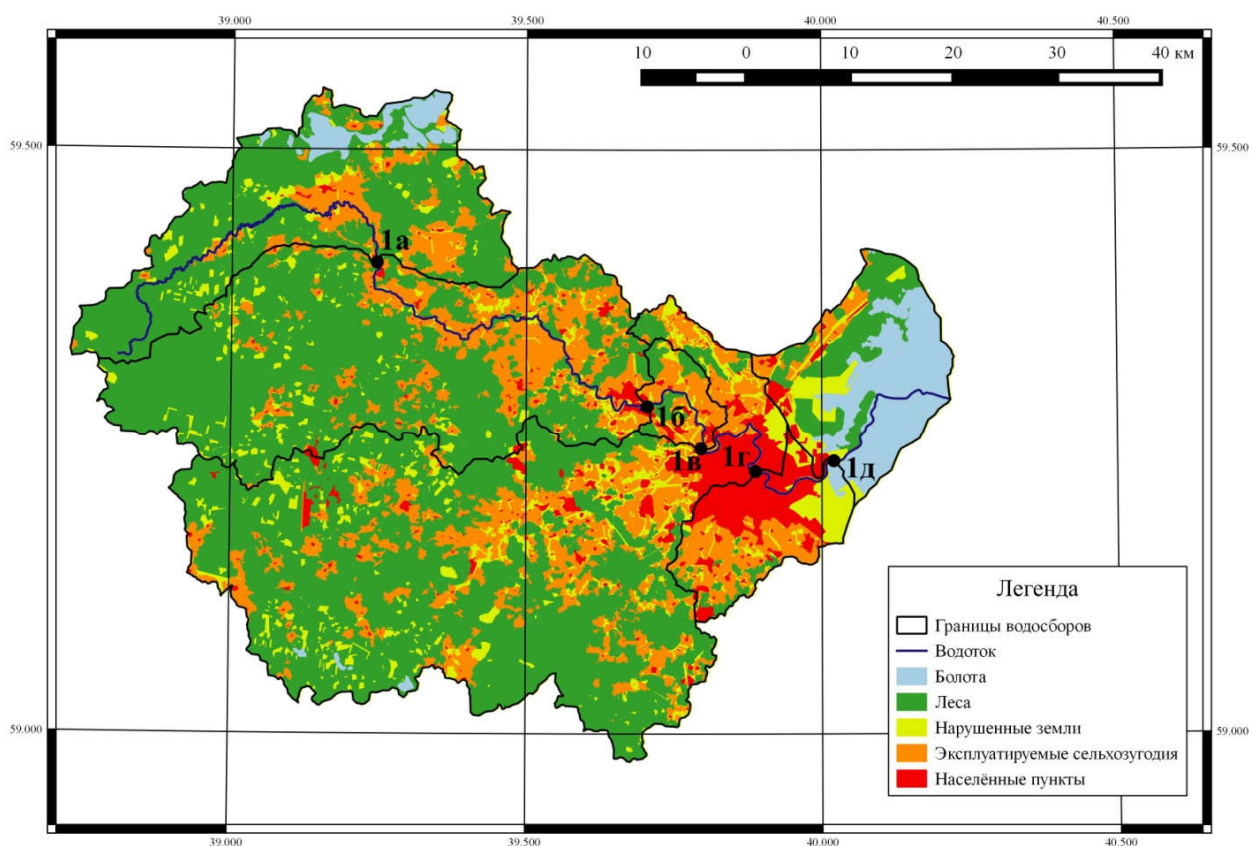


Рис. 2. Результаты визуального дешифрирования водосбора р. Вологда

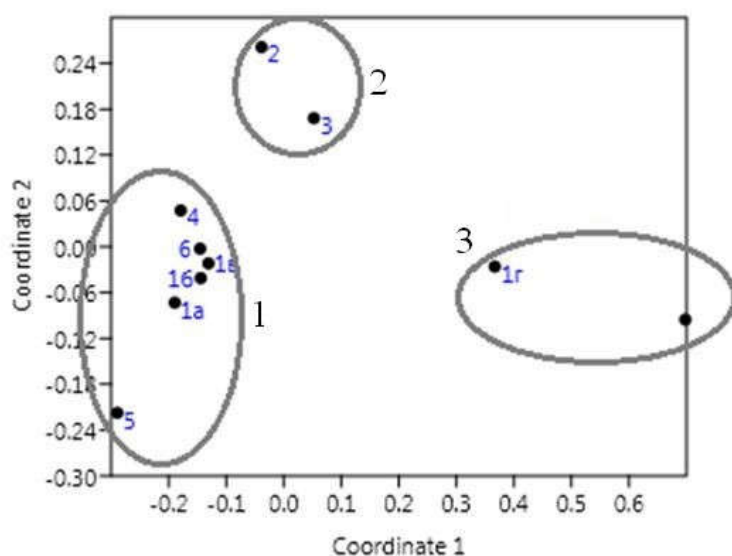


Рис. 3. Группировка станций методом многомерного шкалирования (MDS) на основании матрицы антропогенной нагрузки на водосборы (stress=0,02) (здесь и далее номера станций соответствуют таковым на рис. 1)

Глава 5. ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ВОД

В р. Вологде вниз по течению и в ряду рек Белый Шингарь – Лоста наблюдается увеличение концентраций биогенных и органических веществ, что свидетельствует об эвтрофикации водотоков и интенсификации этого процесса при приближении к г. Вологде. Помимо этого, с приближением к городу наблюдается увеличение концентрации натрия, хлоридов, сульфатов, взвешенных веществ и нефтепродуктов. Территория г. Вологды и его пригородов является источником комплексного загрязнения водотоков.

Значения ИЗВ в р. Вологда увеличиваются вниз по течению. Наиболее высокое качество отмечается в верховьях (1а), где воды характеризуются как чистые. В водохранилище (1б) воды характеризуются уже как умеренно загрязнённые. Ниже плотины (1и) качество вод улучшается. В центре города (1г) воды вновь характеризуются как умеренно загрязнённые, однако значение индекса близки к 2. Ниже города (1д) отмечено самое низкое качество вод – загрязнённые, значение ИЗВ близки к верхней границе градации (воды грязные). В малых реках наилучшее качество вод по индексу ИЗВ зафиксировано в р. Чёрный Шингарь, наихудшее – в р. Лухта. При этом во всех реках, кроме р. Лухта, воды характеризуются как чистые.

Значения ИЗВ закономерно возрастают с увеличением степени урбанизации и плотности населения (рис. 4), что позволяет говорить об антропогенном формировании качества вод исследованных водотоков.

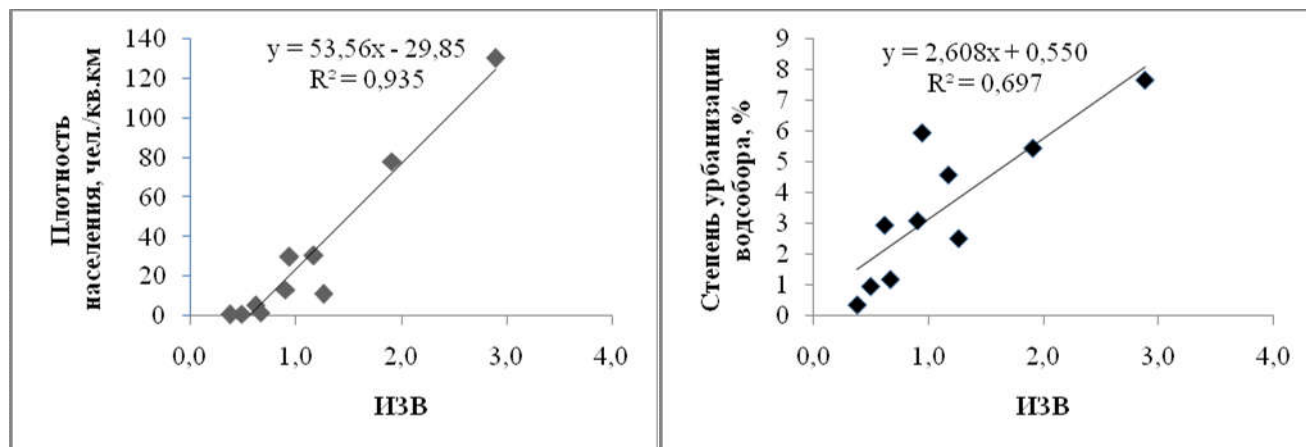


Рис. 4. Зависимость индекса загрязнения воды (ИЗВ) от степени урбанизации водосбора и плотности населения

Глава 6. ЗООБЕНТОС РЕЧНЫХ ЭКОСИСТЕМ

6.1. ВИДОВОЙ СОСТАВ ЗООБЕНТОСА

Всего в составе донных сообществ притоков Верхней Сухоны в период изучения обнаружено 222 вида и таксона надвидового ранга из 10 классов, 20 отрядов, 70 семейств макробеспозвоночных (Ivicheva et al., 2018). Наиболее распространены амфибиотические насекомые, составляющие 69% (153 вида). Из них 21 вид подёнок (9,5%), 33 вида ручейников (14,9%), 79 видов двукрылых (35,6%),

из которых 65 видов – хирономиды (29,3%). Также отмечено 35 видов моллюсков (15,8%), 22 вида олигохет (9,9%), 8 видов пиявок (3,6%).

Впервые для Вологодской области (Думнич и др., 2008, с доп. и уточн.) приводятся 24 вида: 2 – брюхоногие моллюски (*Acroloxus rossicus* Kruglov & Starobogatov, *Anisus charteus* (Held)), 8 – двустворчатые моллюски (*Sphaerium westerlundii* Clessin in Westerlund, *Henslowiana infirmicostata* (Pirogov et Starobogatov), *H. ostroumovi* (Pirogov et Starobogatov), *H. polonica* (Anistratenko et Starobogatov), *Pulchelleuglesa acuticostata* (Starobogatov et Korniushev), *Euglesa likharevi* (Korniushev), *Hiberneuglesa normalis* (Stelfox), *H. parvula* (Clessin in Westerlund)), 4 – подёнки (*Habrophlebia fusca* Curt., *Ephemerella mucronata* Bgtss., *E. notata* Eaton, *Eurylophella karelica* Tiensuu), 1 – стрекозы (*Libellula fulva* (Mull.)), 6 – ручейники (*Lype phaeopa* (Steph.), *Plectrocnemia conspersa* Curtis, *Lepidostoma hirtum* Fabr., *Goera pilosa* (Fabr.), *Notidobia ciliaris* L., *Beraeodes minutes* L.), 3 – хирономиды (*Epoicocladus flavens* Mall., *Prosilocerus danubialis* Botnariuc et Albu, *Constempellina brevicosta* (Edw.)).

Также в р. Белый Шингарь в августе 2013 г. отмечен *Semblis phalaenoides* L., который внесён в Красную книгу Вологодской области (2010) как редкий, уязвимый вид – статус 3(VU).

6.2. АНАЛИЗ ФАУНЫ ДОННЫХ МАКРОБЕСПОЗВОНОЧНЫХ

В р. Вологда наблюдалось уменьшение количества видов вниз по течению. Так, в верховьях было зафиксировано наибольшее число видов (100). На станциях в водохранилище (1б), ниже плотины (1в) и в центре города (1г) (характеризующихся сходными грунтами и минимальным течением) количество видов примерно одинаково (71, 84 и 73 соответственно). Ниже города (1д), отмечено наименьшее количество видов (16). Малые реки характеризуются меньшим видовым богатством: в р. Лоста – 50, р. Лухта – 84, р. Комья – 65, р. Чёрный Шингарь – 70, р. Белый Шингарь – 93. Наибольшее число видов зафиксировано в р. Белый Шингарь, характеризующейся постоянным течением, наименьшее – в р. Лоста, расположенной в пригороде города.

Наибольшее количество видов зарегистрировано в августе и апреле, наименьшее – в конце мая, июне и июле, что связано с вылетом имаго и элиминацией гомотопных видов. На станциях с наибольшей антропогенной нагрузкой (р. Вологда в центре и ниже города) наибольшее число видов отмечено в июне и июле.

Кластерный анализ позволяет достоверно разделить все станции на две группы (на уровне значимости 23) (рис. 5). В первую группу вошли все станции на р. Вологда кроме верховьев. На станциях 1б–1д, находящихся на небольшом удалении друг от друга, распространяется влияние плотины. Внутри группы станции распределяется следующим образом: выше города (1б, 1в) и в центре и ниже города (1г, 1д), что связано с увеличивающейся вниз по течению антропогенной нагрузкой (водосборы последней пары рек характеризуются наибольшей урбанизацией).

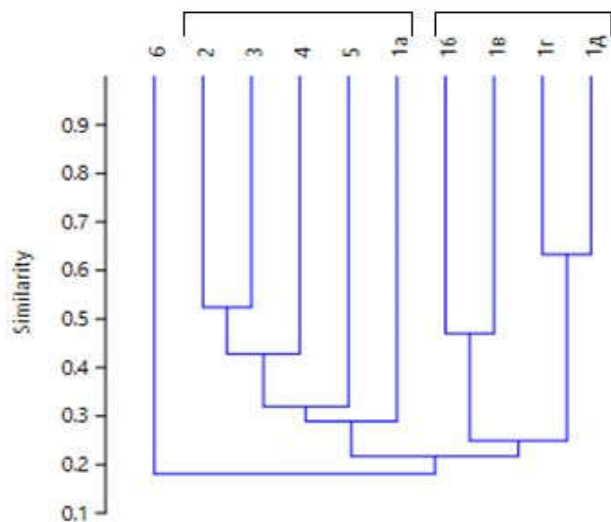


Рис. 5. Дендрограмма сходства фаун различных станций по индексу Брэя-Кёртиса

Наиболее специфичная фауна отмечается в р. Белый Шингарь (6), где зафиксировано наибольшее разнообразие двукрылых. Фауны станций на реках Лоста, Лухта, Комья, Чёрный Шингарь (2–5) и р. Вологда в верховьях (1a) объединяются в одну группу. При этом наибольшее сходство отмечается между фаунами рек Лоста (2) и Лухта (3), на водосборах которых преобладают сельскохозяйственные угодья.

При сравнении фаун изученных рек с фаунами других водоёмов Вологодской области наибольшее сходство отмечается между фаунами рек Вологда в верховьях (1a) и Верхняя Ёрга (величина индекса Жаккара 0,36). Высокое видовое сходство всей фауны изученных рек отмечается с фауной оз. Воже (величина индекса Жаккара 0,32). С фауной Шекснинского водохранилища коэффициент сходства составляет 0,21, оз. Кубенского – 0,23. Наименьшее видовое сходство отмечено с фауной верховых болот центральной части Вологодской области (величина индекса Жаккара составила 0,11) (Ивичева, Филиппов, 2017).

6.3. СИСТЕМАТИКО-ЭКОЛОГИЧЕСКИЙ ОБЗОР ДОННОЙ ФАУНЫ

Представлены данные о встречаемости, численности и биомассе основных групп зообентоса притоков Верхней Сухоны. Для семейств, где проводилась видовая идентификация, приводятся доминирующие виды.

6.4. ЗООГЕОГРАФИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ДОННОЙ ФАУНЫ

Зоогеографический анализ [группы даны на основе работ С.Я. Цалолихина, с некоторыми дополнениями (Определитель..., 1977, 1994, 1997, 1999, 2001)] показал, что основу фауны (40%) составляют транспалеарктические виды. Европейские виды (21%) представлены моллюсками (11 видов) и ручейниками (10); голарктические (23%) – преимущественно хирономидами (24 вида); космополиты полностью представлены кольчатыми червями (4 вида). Видов с узким ареалом распространения не выявлено.

6.5. СТРУКТУРА СООБЩЕСТВ ЗООБЕНТОСА

Для группы водосборов со слабой антропогенной нагрузкой характерно различие структуры сообществ в зависимости от скорости течения грунтов и размера водотока. Выделяются станции в верховьях р. Вологда (1a) и Белый Шингарь (6), как сохраняющие течение на протяжении всего вегетационного периода. В р. Вологда только в верховьях отмечены типичные реофильные сообщества зообентоса: преобладают личинки амфибиотических насекомых (рис. 6).

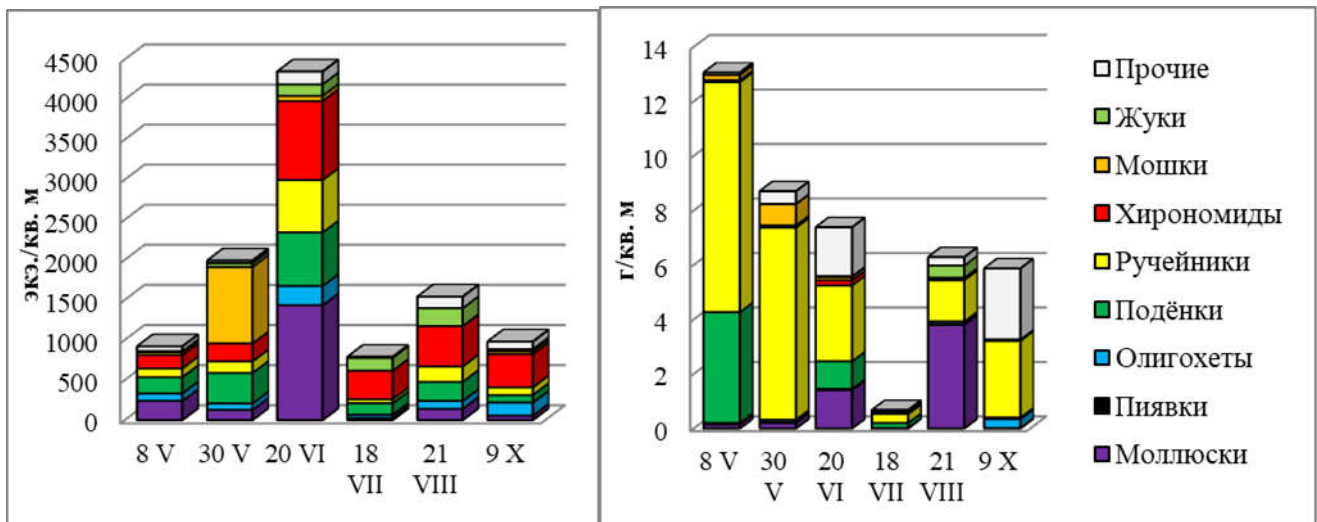


Рис. 6. Численность и биомасса зообентоса р. Вологда в верховьях в течение вегетационного периода

Только здесь отмечаются каменистые субстраты. Количественные показатели на песках и камнях значительно различались (средняя численность была соответственно 1,9 и 11,6 тыс. экз./м², биомасса – 7,7 и 29 г/м²). При этом на песках 85% биомассы составили личинки ручейников, в то время как на камнях встречались разнообразные групп амфибиотических насекомых и доминирования не выражено. К доминирующим видам для данной станции можно отнести *Hydropsyche angustipennis*, *Notidobia ciliaris*, *Polycentropus flavomaculatus*. Отмечается постепенное уменьшение биомассы зообентоса с 20 в начале мая до 1,3 г/м² в июле и последующий её рост в течение вегетационного периода, что связано с периодом вылета имаго и размножения. Значительных межгодовых изменений структуры и количественной представленности макрозообентоса в период изучения не выявлено.

В р. Белый Шингарь (6) отмечено наибольшее разнообразие двукрылых, по численности доминируют хирономиды (рис. 7). Численность зообентоса колеблется от 0,6 тыс. экз./м² в начале мая до 12,9 тыс. экз./м² в июле, биомасса – от 2,6 г/м² в мае до 6,5 г/м² в июле. Максимальные количественные показатели здесь отмечаются в июле и в августе, при этом в июле более 90% численности и 40% биомассы составили хирономиды. Доминантным выступала хирономида *Cladotanytarsus gr. mancus*, субдоминантом – ручейник *Hydropsyche nevae*.

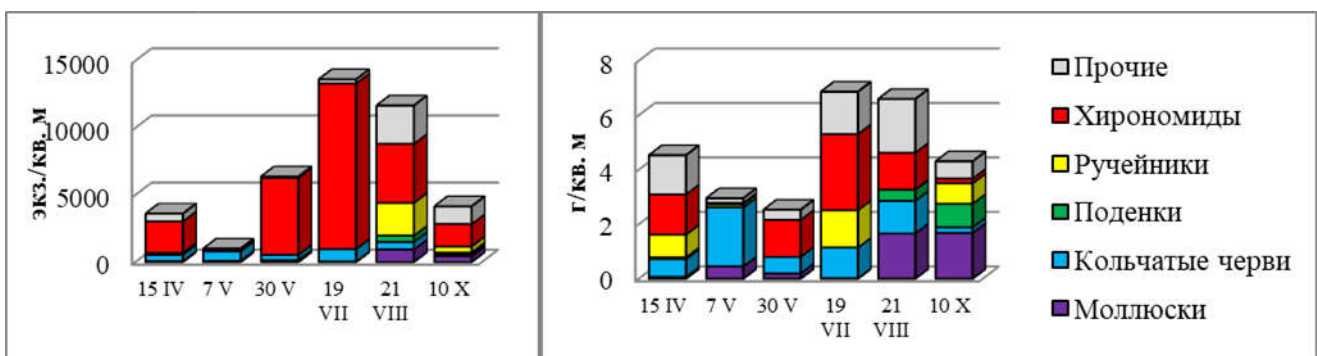


Рис. 7. Численность и биомасса зообентоса р. Белый Шингарь в разные периоды сбора

Для остальных станций с малоосвоенными водосборами характерно преобладание в сообществах зообентоса олигохет, хирономид и моллюсков. На стан-

ции на р. Вологда в водохранилище (1б) и ниже плотины (1в) наибольшие количественные показатели зафиксированы в августе (в период наибольшего развития высшей водной растительности), наименьшие – в конце мая (в период размножения и вылета имаго). В водохранилище биомасса зообентоса колеблется от 1,3 до 13 г/м² (рис. 8), ниже плотины – от 1,3 до 30 г/м² (на обоих участках максимальные значения отмечены в августе). Видовой состав и доминирующий комплекс для обеих станций сходны. Доминируют хирономиды (*Cladotanytarsus* gr. *mancus* и *Chironomus* sp.). Ниже плотины в число доминантов входит также крупная олигохета *Limnodrilus udekemianus*. Сезонная динамика зообентоса на станциях выше и ниже плотины сходная. Влияния плотины на сообщества зообентоса участка в водохранилище не выявлено.

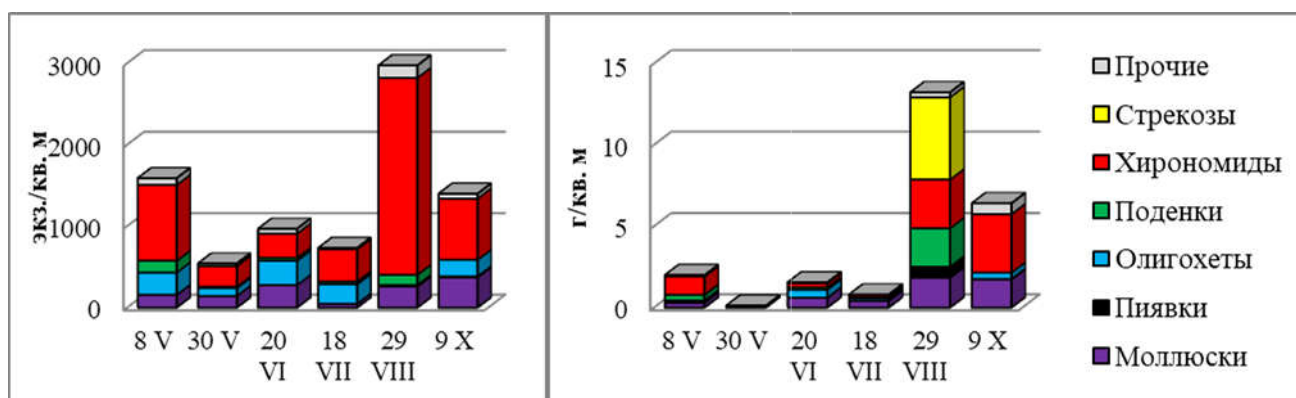


Рис. 8. Численность и биомасса зообентоса р. Вологда в водохранилище в течение вегетационного периода

В малых реках с малоосвоенными водосборами помимо доминирующего комплекса олигохеты-хирономиды-моллюски в число доминантов в отдельные сезоны года могут входить также подёнки, ручейники, вислоккрылки. Для рек Чёрный Шингарь (рис. 9) и Комья характерно доминирование мелких двустворчатых моллюсков. При этом в р. Комья за счёт данной группы зафиксирована наибольшая биомасса, достигающая 41,6 г/м². Доминирование в большинстве сезонов не выражено. В р. Чёрный Шингарь в весенний период в число доминирующих видов входит подёнка *Leptophlebia submarginata*. В р. Комья также в весенний период преобладали среди хирономид *Paratanytarsus* sp., *Microtendipes pedellus*, *Polypedilum scalaenum*, из олигохет – *Limnodrilus hoffmeisteri*.

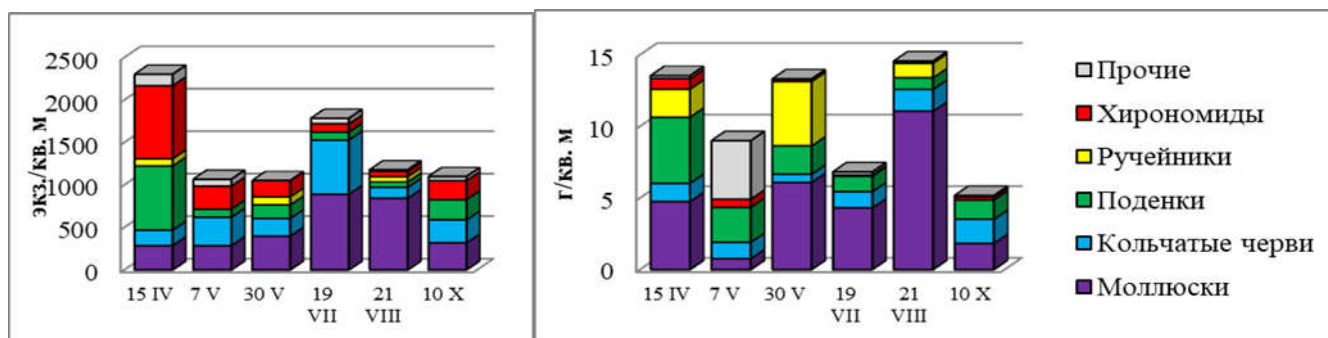


Рис. 9. Численность и биомасса зообентоса р. Чёрный Шингарь в течение вегетационного периода

Водосборы рек Лухта и Лоста относятся ко 2 группе и характеризуются высокой сельскохозяйственной нагрузкой. Как и в предыдущих случаях, в этих реках основу сообществ зообентоса составляют моллюски, олигохеты и хирономиды. В р. Лоста биомасса в течение вегетационного периода колеблется от 3,2 до 12,9 г/м² (рис. 10) в р. Лухта – 10,1–52,9 г/м². В р. Лухта, по сравнению с р. Лоста, доля амфибиотических насекомых выше и составила более 50%, что связано с близостью р. Лоста к г. Вологда. Наименьшая биомасса «мягкого бентоса» отмечена в июле, наибольшая – в апреле и осенью. В р. Лоста количественные показатели в 2011 г. были значительно выше, чем в 2013 г., преобладали олигохеты. В р. Лухта в 2010, 2011 и 2013 гг. количественные показатели и структура сообществ были схожи.

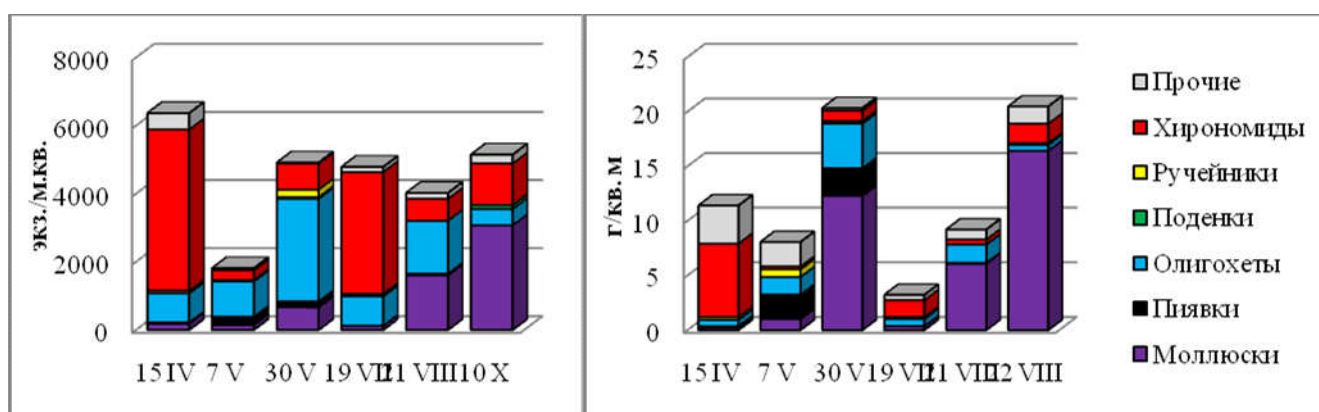


Рис. 10. Численность и биомасса зообентоса р. Лоста в течение вегетационного периода

Водосборы станций р. Вологда в центре (1г) и ниже города (1д) характеризуются высокой степенью урбанизации. В составе зообентоса отмечается снижение доли хирономид и увеличение доли олигохет по сравнению со станциями р. Вологда, имеющими малоосвоенные водосборы. В центре и ниже города по численности доминирует олигохета *Limnodrilus hoffmeisteri* (рис. 11, 12), которая ниже города составляет более 90% численности и биомассы. В центре города по биомассе также доминирует моллюск *Viviparus viviparus*. Биомасса на обеих станциях колебалась в течение всего вегетационного периода от 1,2 до 11,6 г/м², ниже города они были стабильно низкие во все месяцы наблюдений кроме апреля. В центре города наименьшие количественные показатели отмечены в августе, ниже города – в октябре, что связано с накоплением негативного эффекта от города на данных станциях в межлетний период.

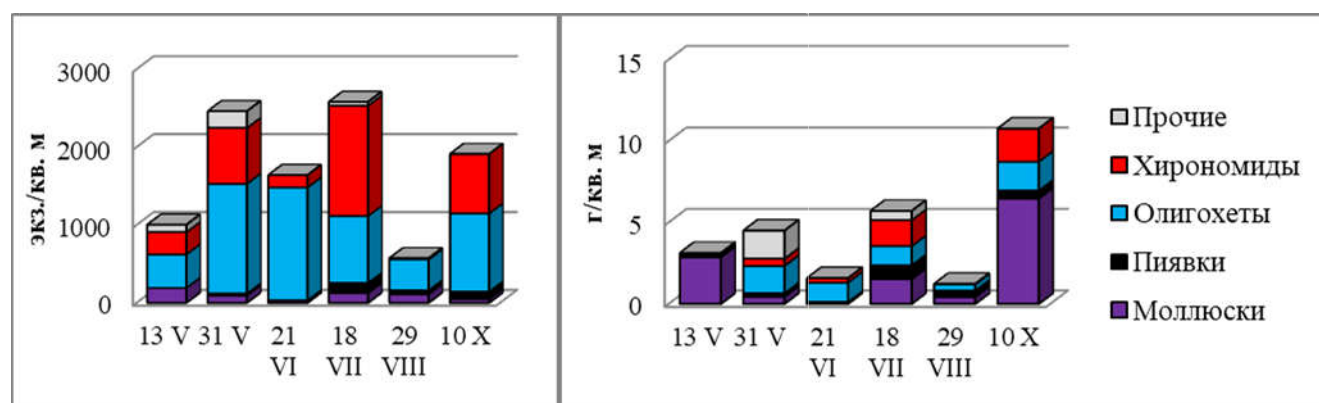


Рис. 11. Численность и биомасса зообентоса р. Вологда в центре города в течение вегетационного периода

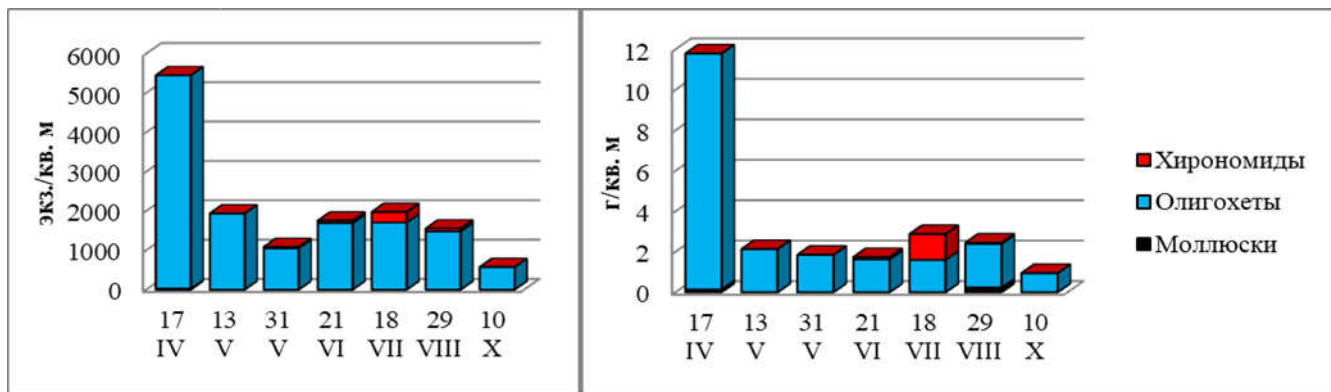


Рис. 12. Численность и биомасса зообентоса р. Вологда ниже города в течение вегетационного периода

За период наблюдений с 2010 по 2013 гг. структура сообществ зообентоса р. Вологда в центре города характеризовалась доминированием олигохет по численности и моллюсков по биомассе, за весь период наблюдений структура сообществ зообентоса не изменялась (рис. 13).

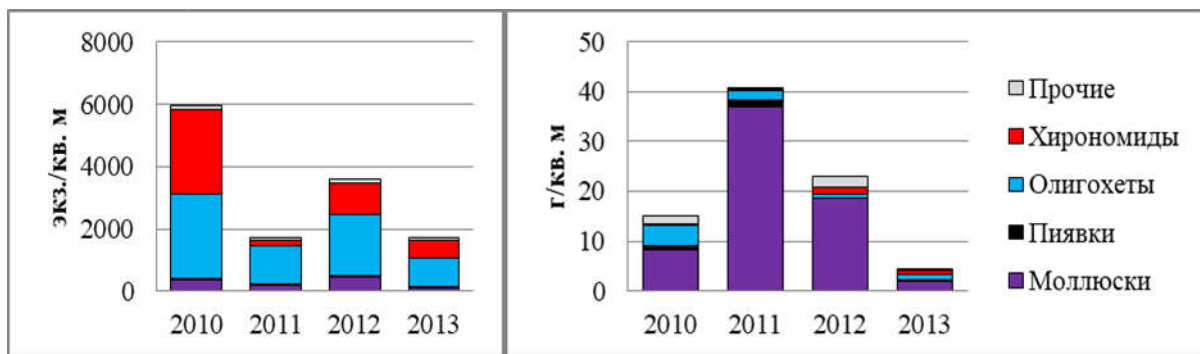


Рис. 13. Средние за вегетационный период численность и биомасса зообентоса р. Вологда в центре города с 2010 по 2013 гг.

6.6. ИНДИКАЦИЯ ВОДОТОКОВ ПО ОРГАНИЗМАМ ЗООБЕНТОСА

По четырём индексам, характеризующим экологическое состояние (Гуднайта-Уитли, сапробность, ТВИ, ВВИ), отмечается ухудшение качества вод в р. Вологда вниз по течению от «очень чистых» в верховьях до «очень грязных» ниже города (табл. 4). В малых реках отмечается изменение качества вод от «очень чистых» в р. Белый Шингарь до «умеренно загрязнённых» в р. Лоста.

Таблица 4. Значения индексов, характеризующих экологическое состояние водотоков (качество вод приводится по: ГОСТ 17.1.3.07-82)

№	Г-У	Качество вод	Н	М	С	ТВИ	ВВИ
1а	6,87±1,1	очень чистые	2,14±0,09	3,35±0,2	1,84±0,08	10	9
1б	22,11±2,61	чистые	1,64±0,12	2,22±0,24	2,41±0,07	8	7
1в	38,5±6,51	умеренно загрязнённые	1,78±0,1	2,46±0,15	2,81±0,23	8	8
1г	61,59±4,54	загрязнённые	1,41±0,25	2,13±0,42	3,11±0,11	3	5
1д	91,83±6,28	очень грязные	0,26±0,09	0,36±0,12	3,46±0,06	2	3
2	43,1±8,06	умеренно загрязнённые	1,62±0,12	2,28±0,25	2,99±0,10	6	5
3	36,03±4,51	умеренно загрязнённые	1,91±0,16	2,92±0,31	2,78±0,10	8	7
4	12,5±3,6	очень чистые	1,52±0,17	2,4±0,32	2,45±0,04	8	8
5	14,88±3,75	очень чистые	1,85±0,13	2,74±0,23	2,53±0,12	9	7
6	11,05±2,8	очень чистые	1,8±0,22	2,52±0,24	2,38±0,14	10	9

Примечание: № – станция, Г-У – индекс Гуднайта-Уитли, Н – индекс Шеннона, бит./экз., М – индекс Маргалёфа, С – сапробность, ТВИ – Trent Biotic Index, ВВИ – Belgian Biotic Index.

В целом, все рассчитанные индексы показывают ухудшение качества речных вод при приближении к областному центру. Наиболее чистой является р. Вологда в верховьях, грязной – р. Вологда ниже города.

Глава 7. СВЯЗЬ КОЛИЧЕСТВЕННЫХ, СТРУКТУРНЫХ И БИОИНДИКАЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ЗООБЕНТОСА И АБИОТИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ СРЕДЫ

В главе рассматривается связь характеристик сообществ зообентоса и экологического состояния водотоков со скоростью течения, ионным составом вод и освоенностью водосборов.

Согласно группировке станций методом многомерного шкалирования на основании численности зообентоса, выделяются три группы (рис. 14):

1) участки малых рек, характеризующихся отсутствием течения, водосборы которых отличаются высокой степенью распаханности (2–5);

2) участки рек, где течение сохраняется на протяжении большей части года, а грунт представлены песками и камнями (1а, б);

3) участки р. Вологда, где течение отсутствует (1б, 1в, 1г); особняком стоит станция 1е, испытывающая максимальную антропогенную нагрузку; водосборы станции этой группы отличаются высокой плотностью населения и степенью урбанизации.

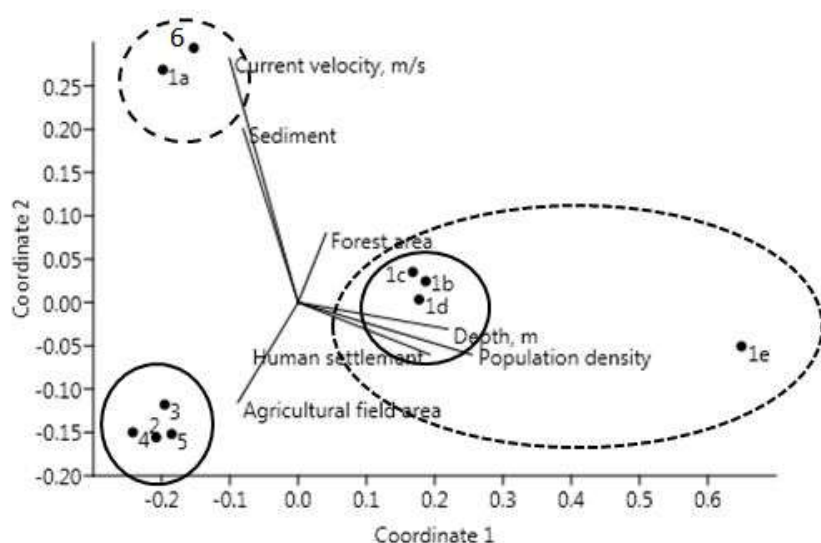


Рис. 14. Группировка станций методом многомерного шкалирования (MDS) на основании коэффициента Чекановского-Съёренсена для численности зообентоса (stress=0,05)

Достоверные различия отмечены только между группами 1 и 3 ($p=0,03$) (как с включением станции 1е, так и без неё). Различие между этими группами составляет 93%. Наибольший вклад в различие вносят олигохеты *Limnodrilus hoffmeisteri* (38%) и личинки хирономид *Cladotanytarsus gr. mancus* (19%). Таким образом, отдельно выделяются станции в средней реке (1б, 1в, 1г, 1д) и станции в малых реках (2, 3, 4, 5), станции же с наличием течения на протяжении всего года (1а, б) обособливаются отдельно.

Скорость течения в водотоках в меженный период показывает достоверную положительную корреляционную связь с числом видов (0,86), численностью и биомассой ручейников (0,73 и 0,81) и подёнок (0,74). Большинство видов из этих

двух отрядов являются реофильными, поэтому их представители на станциях, где скорость течения отсутствует, малочисленны.

Поскольку станции, где течение сохраняется на протяжении всего вегетационного периода, выделяются отдельно, далее мы исключаем их из корреляционного анализа и проводим таковой только для станций, где течение на протяжении большей части вегетационного периода отсутствует.

С увеличением концентраций загрязняющих веществ (сульфатов, хлоридов, натрия, азота аммонийного, нефтепродуктов), перманганатной окисляемости, ХПК, а также значений ИЗВ происходит уменьшение числа видов наиболее чувствительных таксонов: подёнок и ручейников. В то же время, доля видов хирономид увеличивается, о чём свидетельствуют высокие положительные коэффициенты корреляции. Относительная численность и биомасса подёнок, ручейников и моллюсков показывает достоверную отрицательную корреляционную связь с концентрациями загрязняющих веществ. Относительная биомасса олигохет – положительную. Отмечена также достоверная положительная корреляционная связь концентраций загрязняющих веществ и значений ИЗВ с индексами сапробности и Гуднайта-Уитли, отрицательная – со средним числом видов в пробе, индексами Шеннона, Маргалефа, ТВІ, ВВІ.

Наибольшее количество корреляционных связей количественных характеристик и структурных показателей зообентоса обнаружено с азотом и ХПК. В свою очередь, изменение этих характеристик воды положительно связано со степенью урбанизации водосбора и плотностью населения на нём, что свидетельствует о ведущей роли антропогенного воздействия в увеличении биогенных и органических веществ в воде рек.

Таблица 5. Коэффициенты корреляции Спирмена между показателями зообентоса и освоенностью водосборов (**жирным шрифтом** выделены достоверные значения при $p < 0,05$)

Показатели	Плотность населения в створе, чел./км ²	Нарушенные земли, %	Населённые пункты, %
Количество видов подёнок	-0,75	-0,05	-0,85
Количество видов олигохет, %	0,50	0,79	0,43
Количество видов хирономид, %	0,74	0,26	0,74
Численность моллюсков, %	-0,79	-0,50	-0,67
Численность насекомых, %	-0,76	-0,10	-0,79
Численность подёнок, %	-0,69	-0,24	-0,76
Биомасса подёнок, %	-0,67	-0,12	-0,71
Численность моллюсков	-0,29	-0,71	-0,24
Численность хирономид	-0,29	-0,83	-0,29
Биомасса насекомых, г/м ²	-0,62	-0,45	-0,71
Биомасса хирономид, г/м ²	-0,26	-0,74	-0,33
Индекс Гуднайта-Уитли	0,90	0,24	0,93
Сапробность	0,83	0,24	0,86
ТВІ	-0,88	-0,15	-0,91
ВВІ	-0,72	-0,35	-0,78

С плотностью населения и степенью урбанизации водосборов отрицательно было связано количество видов подёнок, доли насекомых, моллюсков, подёнок в общей численности зообентоса, доля поденок в общей биомассе, индексы ТВІ,

ВВІ, положительно – доли видов хирономид и олигохет, биомасса хирономид, индексы Гуднайта-Уитли и сапробности (табл. 5). При этом лесистость и распаханность водосбора не показывают достоверной корреляционной связи ни с одним из анализируемых параметров зообентоса.

Достоверную корреляционную связь со степенью антропогенной нагрузки демонстрируют все основные группы индексов: основанные на соотношении отдельных таксонов (Гуднайта-Уитли), на наличии/отсутствии отдельных групп (ТВІ, ВВІ), на сапробной валентности видов (индекс сапробности Пантле и Букк в модификации Сладечека). Наибольшие значения коэффициентов корреляции с показателями степени антропогенной нагрузки обнаружены для индексов Гуднайта-Уитли и Вудивисса (ТВІ).

При сравнении состояния сообществ зообентоса и характеристик водосбора, можно сделать вывод о том, что наибольшее влияние оказывают такие параметры как плотность населения и доля населённых пунктов.

ВЫВОДЫ

1. В составе зообентоса изученных рек бассейна Верхней Сухоны зафиксировано 222 вида и таксона надвидового ранга из 10 классов, 20 отрядов, 70 семейств. Из них 24 вида отмечены впервые для Вологодской области. Наиболее распространены амфибиотические насекомые (153 вида), из которых 21 вид – Ephemeroptera, 33 – Trichoptera, 79 – Diptera. Также отмечено 35 видов Mollusca, 22 – Oligochaeta, 8 – Hirudinea.

2. Водосборы средней и малых рек бассейна Верхней Сухоны по мере приближения к крупному населенному пункту – г. Вологда – характеризуются уменьшением лесистости (от 76 до 35%), увеличением их распаханности (от 11 до 57%), степени урбанизации (от 0,4 до 7,7%) и плотности населения (от 0,8 до 130 чел./км²). Одновременно, с 0,6 до 2,9 возрастает значение индекса загрязнения воды в реках.

3. Увеличение распаханности водосборов, степени их урбанизации и плотности населения приводит к сокращению количества видов донных макробеспозвоночных в реках: в р. Вологда со 100 до 16 видов, в малых реках – с 93 до 50. Изменяется также структура сообществ зообентоса. При этом в р. Вологда сокращается доля амфибиотических насекомых в общей численности (с 74 до 3%) и биомассе (с 85 до 6%), снижается доля моллюсков в общей численности (с 19 до 0,2%), увеличивается доля олигохет в общей численности (с 18 до 97%) и биомассе (с 2 до 93%). В малых реках возрастает только доля олигохет в общей численности макрозообентоса (с 7 до 28%).

4. Увеличение плотности населения и количества населённых пунктов на водосборе приводит к упрощению структуры сообществ зообентоса в направлении доминирования олигохет и хирономид, ухудшается качество вод, оцененное по зообентосу.

5. В верховьях рек Вологда и Белый Шингарь, где течение сохраняется на протяжении всего вегетационного периода, сообщества зообентоса характеризуются преобладанием по численности, биомассе и видовому составу подёнок, ручейников и двукрылых. На участках, где течение большую часть вегетационного периода отсутствует, ядро зообентоса составляют олигохеты, хирономиды и моллюски.

Список работ, опубликованных К.Н. Ивичевой по теме диссертации

– статьи в изданиях, индексируемых в Web of Science Core Collection

Ivicheva K.N., Makarenkova N.N., Zaytseva V.L., Philippov D.A. Influence of flow velocity, river size, a dam, and an urbanized area on biodiversity of lowland rivers // Biosystems Diversity. 2018. Vol. 26, No. 4. P. 292–302. DOI: 10.15421/011844

– статьи в изданиях, рекомендованных ВАК РФ

Ивичева К.Н., Филоненко И.В. Зообентос озера Воже // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2015. Т. 17, №4–4. С. 705–711.

Ивичева К.Н. Зообентос реки Вологды // Вода: химия и экология. 2017. №1(103). С. 80–86.

Ивичева К.Н. Зообентос малых рек-притоков Верхней Сухоны // Вода: химия и экология. 2016. №8(98). С. 53–59.

Ивичева К.Н., Филоненко И.В. О влиянии освоенности водосбора реки Верхней Сухоны (Вологодская область) на химический состав вод её притоков // Принципы экологии. 2017. Т. 6, №3(24). С. 81–92. DOI: 10.15393/j1.art.2017.6422

Ивичева К.Н., Филиппов Д.А. Водные макробеспозвоночные верховых болот центральной части Вологодской области // Труды Карельского научного центра Российской академии наук. 2017. №9. Сер. Экологические исследования. С. 30–45. DOI: 10.17076/есо472

Ивичева К.Н., Филоненко И.В. Влияние освоенности водосбора реки Верхней Сухоны (Вологодская область) на зообентос её притоков // Принципы экологии. 2019. Т. 8, №1(31). С. 19–31. DOI: 10.15393/j1.art.2019.8422

– статьи в прочих рецензируемых научных журналах¹

Ивичева К.Н., Филоненко И.В. Анализ влияния освоенности речных бассейнов на качество вод методами ГИС // Принципы экологии. 2012. Т. 1, №2(2). С. 76–81. DOI: 10.15393/j1.art.2012.1061

Ивичева К.Н., Филоненко И.В. Анализ зависимости качества вод по гидрохимическим показателям от освоенности водосборов // Принципы экологии. 2013. Т. 2, №3(7). С. 53–61. DOI: 10.15393/j1.art.2013.2421

*Ивичева К.Н., Филиппов Д.А. О макрозоофитосе сообществ *Fontinalis antipyretica* водоёмов и водотоков Вологодской области // Ярославский пед. вестник. 2013. Т. III (Естеств. науки), №4. С. 166–170.*

– материалы и тезисы докладов научных мероприятий

Ивичева К.Н. Методы биоиндикации при оценке качества вод реки Вологды // Материалы V ежегодной науч. сессии аспирантов и молодых учёных по отраслям наук: Техн. науки. Эконом. науки. Вологда: ВоГТУ, 2011. С. 142–145.

Ивичева К.Н., Филоненко И.В., Булычева В.Н. Бентос реки Вологда // Экология малых рек в XXI веке: биоразнообразии, глобальные изменения и восстановление экосистем: Всероссийская конф. с междунар. участием со шк.-семинаром молодых учёных по изучению хирономид (Diptera, Chironomidae). 5–8 сентября 2011 г. г. Тольятти, Россия. Тольятти, 2011. С. 72.

¹ Журнал «Принципы экологии» вошёл в список изданий, рекомендуемых ВАК РФ для защиты диссертаций на соискание учёной степени кандидата наук и доктора наук, в декабре 2015 г.

Ивичева К.Н. **Количественная оценка роли водосборов в формировании качества вод** // Материалы Междунар. молодёжного науч. форума «Ломоносов-2013». М.: МАКС Пресс, 2013. С. 100–101.

Ивичева К.Н., Филоненко И.В. **Изменение сообществ макрозообентоса водотоков в условиях сильной антропогенной нагрузки (на примере р. Вологда)** // Биологические ресурсы Белого моря и внутренних водоёмов Европейского Севера: Тез. докл., г. Мурманск, 27–29 марта 2013 г. Мурманск, 2013 С. 85–87.

Ивичева К.Н., Филоненко И.В. **Инвазионные виды зообентоса Вологодской области** // Проблемы изучения и охраны животного мира на Севере: Материалы докл. II Всерос. конф. с междунар. участием (Сыктывкар, Республика Коми, Россия, 8–12 апреля 2013 г.). Сыктывкар, 2013. С. 90–91.

Филоненко И.В., Ивичева К.Н. **Опыт использования данных дистанционного зондирования Земли для определения качества вод водных объектов** // Вузовская наука – региону: Материалы Всероссийской науч.-техн. конф., Вологда, 26 февраля 2013 г., Вологда, 2013. С. 125–130.

Ивичева К.Н., Филоненко И.В. **Особенности распределения сообществ зообентоса р. Вологда** // Экосистемы малых рек: биоразнообразие, экология, охрана: Материалы лекций II-й Всероссийской шк.-конф. 18–22 ноября 2014 г. Т. II. Борок, 2014. С. 162–164.

Ивичева К.Н. **Гидрохимический и гидробиологический подходы к оценке экологического состояния рек центральной части Вологодской области** // Вузовская наука – региону: Материалы Всероссийской науч.-техн. конф., Вологда, 25 февраля 2016 г. Вологда, 2016. С. 255–256.

Ивичева К.Н. **Оценка экологического состояния реки Вологды** // Рыбохозяйственные исследования на внутренних водоёмах: Материалы докл. II Всероссийской науч. конф. (Санкт-Петербург, 19–21 апреля 2016 г.). СПб.: Изд. ГосНИОРХ, 2016. С. 107–112.

Ивичева К.Н. **Фауна донных макробеспозвоночных притоков реки Сухоны, расположенных в различных ландшафтах Вологодской области** // Материалы Междунар. молодёжного науч. форума «ЛОМОНОСОВ-2017» [Электр. ресурс – электр. опт. диск (DVD-ROM)]. М.: МАКС Пресс, 2017. URL: https://lomonosov-msu.ru/archive/Lomonosov_2017/data/10739/uid45371_report.pdf (вход свободный; дата обращения 10.10.2017).

Подписано в печать 06.09.2019
Формат 60×84 ¹/₁₆. Объём 1,0 печ.
Тираж 100 экз. Заказ № 10/09

Отпечатано в ООО «Коперник35»
160004, г. Вологда, ул. Клубова, 7, оф. 4. Тел.: +7-951-745-87-91, +7-951-509-06-07,
priem@kopernik35.ru