

Издатель

ФГБОУ ВО «Петрозаводский государственный университет»
Российская Федерация, г.Петрозаводск, пр.Ленина,33

Научный электронный журнал

ПРИНЦИПЫ ЭКОЛОГИИ

<http://ecopri.ru>

№ 1 (35). Март, 2020

Главный редактор

А. В. Коросов

Редакционный совет

В. Н. Большаков
А. В. Воронин
Э. В. Ивантер
Н. Н. Немова
Г. С. Розенберг
А. Ф. Титов

Редакционная коллегия

Г. С. Антипина
В. В. Вапиров
А. Е. Веселов
Т. О. Волкова
Е. П. Иешко
В. А. Илюха
Н. М. Калинкина
А. М. Макаров
А. Ю. Мейгал
В. К. Шитиков
В. Н. Якимов
A. Gugotek B.
J. B. Jakovlev
R. Krasnov
J. P. Kurhinen

Службы поддержки

А. А. Зорина
А. Г. Марахтанов
Е. В. Голубев
С. Л. Смирнова
Н. Д. Чернышева
М. Л. Киреева

ISSN 2304-6465

Адрес редакции

185910, Республика Карелия, г.Петрозаводск, пр. Ленина, 33. Каб. 453

E-mail: ecopri@psu.karelia.ru

<http://ecopri.ru>





УДК УДК 574.5:551.4(282.247.133)

ГИДРОБИОЛОГИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ РЕК ВЫЧЕГОДСКОГО БАССЕЙНА В РАЗЛИЧНЫХ ЕДИНИЦАХ ЛАНДШАФТНОГО ДЕЛЕНИЯ

БАТУРИНА к. б. н., *Институт биологии Коми научного центра Уральского от-*
Мария Александровна *деления РАН (ИБ Коми НЦ УрО РАН), baturina@ib.komisc.ru*

КОНОНОВА к. б. н., *Институт биологии Коми научного центра Уральского от-*
Ольга Николаевна *деления РАН (ИБ Коми НЦ УрО РАН), kon@ib.komisc.ru*

ЕЛСАКОВ к. б. н., *Институт биологии Коми научного центра Уральского от-*
Владимир Валерьевич *деления РАН (ИБ Коми НЦ УрО РАН), elsakov@ib.komisc.ru*

Ключевые слова:
бассейн р. Вычегда
малые реки
средние реки
зоопланктон
зообентос
ландшафтный подход

Аннотация: Разнообразие природных условий ландшафтных комплексов, различия в геологическом строении и рельефе водосборных площадей бассейна р. Вычегда лежат в основе формирования основных гидробиологических характеристик ее притоков. Для дифференциации малых и средних притоков р. Вычегды предложено использовать районирование, основанное на различиях в строении геологического фундамента, геоморфологии, современном рельефе, почвообразующих породах и растительном покрове. Для анализа особенностей распределения доминирующих наземных экосистем в пределах бассейна использованы результаты сегментации мозаик изображений Landsat. Приведены результаты гидробиологических и гидрохимических наблюдений на 59 малых и средних реках в пределах выделенных ландшафтных комплексов Лузско-Вычегодской и Вычегодско-Мезенской равнин и Тиманской гряды. Дан обзор многолетних исследований планктонных и донных сообществ водотоков Вычегодского бассейна. Установлено, что ландшафтная приуроченность малых и средних притоков реки Вычегда определяет особенность водных сообществ: ординация результатов измерений численности и массы бентоса методом многомерного неметрического шкалирования (NMDS) показала наличие и формирование полярных по локализации ядер по показателям общей численности и биомассы для Вычегодско-Мезенского и Тиманского ландшафтных районов. Промежуточное положение занимает группа Лузско-Вычегодской равнины. Многообразие экологических условий малых и средних водотоков обусловили взаимные «проникновения» и размытый характер выделенных групп. Не выявлено выраженной дифференциации для характеристик зоопланктона.

© Петрозаводский государственный университет

Рецензент: С. В. Баканев

Получена: 29 Ноября 2019 года

Подписана к печати: 20 марта 2020 года

Введение

Бассейны малых притоков, являясь элементами, формирующими более крупные речные системы, определяют фоновый уровень их гидролого-биологических особенностей (Зинченко и др., 2018). Разнообразии природных условий, обусловленное характером рельефа, тектонико-геологическим строением и климатом, формирует высокую ландшафтную вариабельность в пределах их бассейнов (Жигулина, Михно, 2015), а водность и режим стока малой реки целиком определяются особенностями и сочетаниями ландшафтов ее водосборной площади (Богатов, 2013). В пределах крупных речных бассейнов, особенно когда река протекает через разные физико-географические зоны, организация речной биоты определяется не только континуумом, но и физико-географическими условиями водосбора, структурно-функциональными характеристиками прибрежных наземных сообществ (Богатов, Федоровский, 2017). Изменения в природных комплексах бассейнов отражаются на их состоянии (Неустроева, Деева, 2008). Поэтому для исследований малых водотоков, как первичных звеньев гидрологических сетей (Биоиндикация..., 2007; Особенности..., 2011; Богатов, Федоровский, 2017 и др.), необходимо привлечение комплексных ландшафтно-экологических подходов.

В связи с интенсивным развитием компьютерных технологий наряду с традиционными методами построения ландшафтных карт стали широко применяться данные дистанционного зондирования и ГИС-технологии, которые позволяют наиболее подробно отражать современное состояние ландшафтов. Однако если ранее большинство исследований, в которых сообщается о разработке и использовании ГИС, были ориентированы на приложения в управлении ресурсами (Landscape ecology..., 1993), то на сегодняшний день они демонстрируют широкие возможности использования в различных экологических исследованиях (Landscape ecology..., 1993; Трифонова и др., 2009; Савичев и др., 2011; Lee et al., 2013; Gartzia de Bikuña et al., 2015; Wang et al., 2015; Drewnik et al., 2017; Ивичева, Филоненко, 2019). Разработка ГИС малых рек считается одной из самых сложных задач при районировании территории России по условиям формирования водных ресурсов и оценке их качества (Koronkevich et al., 1994). Поэтому привлечение информационных тех-

нологий для статического и динамического картографирования бассейновых процессов только приобретает свою актуальность.

Река Вычегда (водосборная площадь 121 тыс. км²) протекает по территории Республики Коми и Архангельской области, является одной из крупных рек европейской части России (1130 км) и второй по площади бассейна рекой Республики Коми (84 % бассейна локализовано в пределах республики). Для региона каркасная роль Вычегодского бассейна определена объединением центральных, наиболее заселенных районов с развитым сельским хозяйством и лесоперерабатывающим производством, сформированными рекреационными зонами, и менее заселенных, мало используемых территорий, сохранивших свои природные особенности.

Являясь основными компонентами аккумулярующих и транзитных ландшафтных фаций, воды нижней и средней части течения р. Вычегды длительное время испытывают влияние сбросов многочисленных промышленных и сельскохозяйственных производств, коммунальных стоков и других источников, что в настоящее время отражается в отдельных характеристиках их качества (Государственный..., 2014). Анализ архивных материалов спутниковых съемок Landsat (TM4) и MODIS временного интервала 1984–2015 гг. показал, что в большей части наземных экосистем бассейна р. Вычегды присутствуют изменения, связанные с сукцессионными сменами состава растительных сообществ и зарастанием сельскохозяйственных земель (Елсаков, Щанов, 2016). Наиболее существенные изменения последних лет (2009–2014 гг.) отмечены в восточной части территории и связаны с интенсивными промышленными рубками, однако данные участки фрагментарны, на территории еще сохранены крупные массивы малонарушенных лесов. Для основного русла р. Вычегды, согласно спутниковым изображениям (Елсаков, Щанов, 2016), отмечены и температурные загрязнения: повышение температуры до 9–10 °С в начале шлейфов сброса вод ОАО «Монди-СЛПК», его превышение над фоновыми показателями на участках протяженностью до 15 км.

Многочисленные проводимые ранее гидрологические, гидробиологические и гидрохимические наблюдения на р. Вычегде и ее притоках основывались на разделении реки на верхнее, среднее и нижнее течение (Зверева, 1969; Власова, 1988; Шубина,

1997, 2006; Батурина и др., 2016), подчеркивая своеобразие рельефа и направление движения основного русла. При этом редко учитывались географические и геоэкологические условия территорий, оказывающие несомненное влияние на экологическое состояние и биоразнообразие протекающих по ним водотоков.

Известно, что именно ландшафты бассейнов малых и средних рек определяют экологическую ситуацию региона в целом (Трифорова и др., 2009; River ecosystem..., 2010; Особенности..., 2011 и др.). К бассейну Вычегды относится 127 водотоков первого порядка, для которых характерна разветвленная сеть притоков II и III порядков. Размеры площади их водосборов варьируют от 10.8 км² (р. Черная) до 25.6 тыс. км² (р. Вымь) и позволяют отнести их к категории малых и средних рек. Длительная геологическая история территории европейского северо-востока России, сложное геолого-геоморфологическое строение (чередование равнинных и увалистых частей) и расположение в различных природных подзонах формируют ландшафтное разнообразие, характеризующееся высокой степенью мозаичности (Ильчуков, 2010). Основная цель исследования состояла в выявлении особенностей и отличий в формировании гидробиологических характеристик притоков р. Вычегды в зависимости от их положения в различных единицах ландшафтного деления, а также в оценке уровня вариабельности показателей между выделенными группами.

Материалы

Основой выполнения работы стали материалы полевых исследований 2006–2015 гг., проведенные авторами преимущественно в период межени (июль – август). Сбор и обработка гидробиологического материала (зоопланктон, зообентос) выполнялись стандартными методами (Методика..., 1975; Шубина, 1986). В составе зообентоса рассматривали как макро-, так и мейобентос в соответствии с ранними гидробиологическими исследованиями, проводимыми на водотоках бассейна. Корпус данных о количественном развитии зообентоса и зоопланктона включал гидробиологические сборы из 59 малых и средних притоков бассейна р. Вычегды (рис. 1), протекающих по территории трех ландшафтных зон: Лузско-Вычегодская и Вычегодско-Мезенская равнины, Тиманская гряда. Сборы в водоемах ландшафтной зоны Северных Увалов были разо-

вые и не вошли в анализ. Всего было проанализировано около 600 количественных проб.

Методы

В качестве основных показателей учитывали таксономический состав, численность и биомассу организмов зоопланктона и зообентоса для каждого водотока. В рамках данных исследований анализировали показатели только для крупных таксономических единиц в притоках разного порядка и для каждой выделенной ландшафтной зоны. Выборка данных разделялась по типам водотоков (малый или средний) и порядку исчисления притоков (I, II, III) относительно русла главной реки (р. Вычегда) (Ткачев, Булатов, 2002).

Ординация проб проводилась методом неметрического многомерного шкалирования (non-metric multidimensional scaling – NMDS) в программе ExStatR (Новаковский, 2016). Сравнение групп осуществлялось медианным методом на основе непараметрического критерия Краскала – Уоллиса (Москалев, Новаковский, 2014), для визуализации использовали статистический пакет R (V. 3.5.2).

Отбор гидрохимических проб и донных отложений выполняли параллельно сбору гидробиологического материала. Температуру воды, pH и концентрацию растворенного кислорода измеряли портативным анализатором «Multi 340i/SET» (Германия). Прозрачность воды определяли с помощью диска Секки. Количественный химический анализ проб природной поверхностной воды выполнен в экоаналитической лаборатории ИБ ФИЦ Коми НЦ УрО РАН (аттестат аккредитации № РОСС RU.0001.511257) по аттестованным методикам измерений.

Ландшафтная фрагментация бассейна р. Вычегды выполнена по территориальным единицам, представленным в работе С. В. Ильчукова (2010). Площадь водосбора включает ландшафтные комплексы Лузско-Вычегодской и Вычегодско-Мезенской равнин, Тиманской гряды и Северных Увалов (см. рис. 1), различающиеся друг от друга по геологическому фундаменту, геоморфологии, современным рельефам и локальным климатам, почвообразующим породам, гидрологическому режиму и растительному покрову. Основной методологический подход, использованный для создания деления (Ильчуков, 2010), – «пошаговое последовательное классифицирование территории за

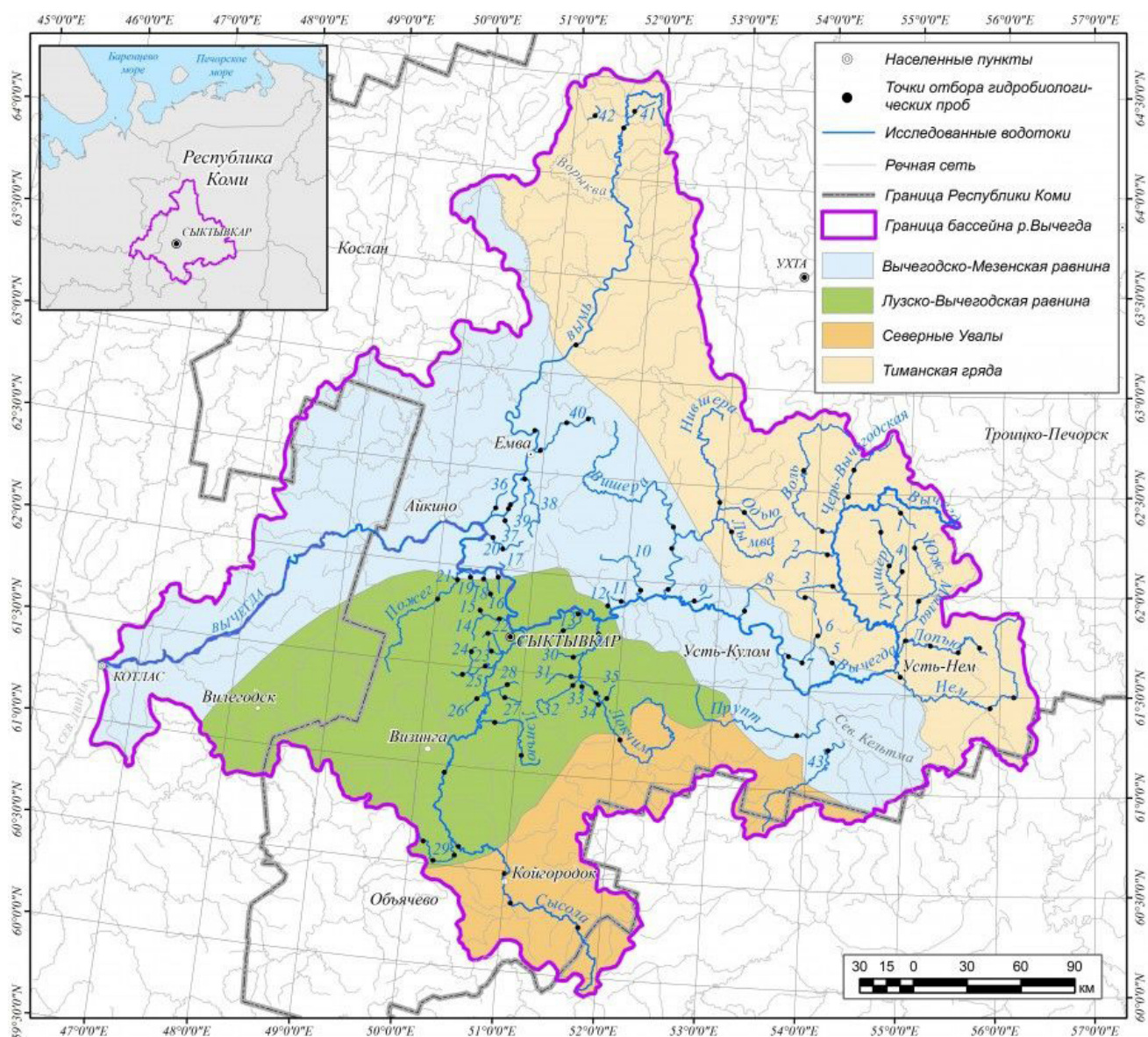


Рис. 1. Локализация Вычегодского бассейна и участков отбора гидробиологических образцов. Градацией качественного фона отмечены ландшафтные единицы (по: Ильчуков, 2010). Цифрами обозначены исследованные малые водотоки: 1 – р. Пузла; 2 – р. Помес; 3 – р. Пожег; 4 – р. Визаель; 5 – р. Жешим-ю; 6 – р. Кулом-ю; 7 – канал Донвис; 8 – р. Кужоб-ю; 9 – р. Новик; 10 – р. Нёбью; 11 – р. Чортас; 12 – р. Ель; 13 – р. Кия-ю; 14 – р. Човью; 15 – руч. Безимянный; 16 – р. Язель; 17 – р. Ю; 18 – р. Кылог; 19 – р. Пычим; 20 – р. Юромка; 21 – р. Бол. Ёль; 22 – р. Важелью; 23 – р. Тыла-ю; 24 – р. Ю-ил; 25 – р. Кылтымью; 26 – р. Сопь; 27 – р. Нювчим; 28 – р. Дендель; 29 – р. Тыб-ю; 30 – р. Собинка; 31 – р. Мал. Певк; 32 – р. Бол. Певк; 33 – р. Лек-шор; 34 – р. Седъель; 35 – р. Мор; 36 – р. Ерыч; 37 – р. Ачим; 38 – р. Нижн. Кылтовка; 39 – руч. Емваль; 40 – р. Верхн. Кылтовка; 41 – р. Верхн. Видзью; 42 – руч. Черный; 43 – р. Воч. На средних реках участки отбора отмечены точками без номеров (n = 16)

Fig. 1. The localization of the Vychegda river basin and hydrobiological sampling sites. Landscape units are marked by gradation of qualitative background (Ref.: Il'chukov, 2010). The small river names: 1 – Puzla; 2 – Pomes; 3 – Pozheg; 4 – Vizael'; 5 – Zheshim-yu; 6 – Kulom-yu; 7 – kanal Don-vis; 8 – Kuzhob-yu; 9 – Novik; 10 – Nyob'yu; 11 – Chortas; 12 – El'; 13 – Kiya-yu; 14 – Chov'yu; 15 – Bezimyannyj; 16 – Yazel'; 17 – Yu; 18 – Kylog; 19 – Pychim; 20 – Yuromka; 21 – Bol. El'; 22 – Vazhel'yu; 23 – Tyla-yu; 24 – Yu-il; 25 – Kyltym'yu; 26 – Sop'; 27 – Nyuvchim; 28 – Dendel'; 29 – Tyb-yu; 30 – Sobinka; 31 – Mal. Pevk; 32 – Bol. Pevk; 33 – Lek-shor; 34 – Sed-el'; 35 – Mor; 36 – Erych; 37 – Achim; 38 – Nizhn. Kyltovka; 39 – Emval'; 40 – Verhn. Kyltovka; 41 – Verhn. Vidz'yu; 42 – Chernyj; 43 – Voch. The empty dots mark sites on medium-sized rivers (n = 16)

счет корректного представления о смене ведущего фактора дифференциации (критерия) до выбранных физико-географических типологических выделов (географических ландшафтов)». Построение и обработку картографических материалов проводили в пакете ArcGIS 9.2.

Для оценки особенностей распределения доминирующих наземных экосистем в пределах бассейна использованы результаты анализа мозаик изображений Landsat 2009–2014 гг. (Елсаков, Щанов, 2016). В ходе проведенной классификации растительных сообществ выделено 9 классов поверхностей (рис. 2А). На основании соотношения площадей различных выделенных классов, участвующих в формировании бассейнов, выделенные ландшафтные районы сгруппированы в ряд кластеров (метод среднего арифметического – UPGMA) (Факторный..., 1989). В группах представлены водосборы с различным режимом землепользования: сельскохозяйственное производство (луга), участки промышленного лесопользования и земли поселений (урбанизированные и нарушенные территории), малонарушенные лесные территории (хвойные и лиственные леса), болотные комплексы и водные поверхности.

Результаты

Разнообразие природных условий, обусловленное характером рельефа, сложностью тектонико-геологического строения, привело к формированию в бассейне р. Вычегды большого разнообразия ландшафтов. Кластеры выделенных ландшафтных зон по представленности преобладающих классов земной поверхности (рис. 2Б) объединили равнинные территории (Вычегодско-Мезенская и Лузско-Вычегодская равнины) и районы возвышенных гряд (Северные Увалы и Тиманская гряда). В пределах всех ландшафтных зон доминировали участки, представленные преимущественно производными лесными сообществами смешанных елово-березовых лесов (35.7 ÷ 42.1 %). Максимальные площади (до 36.3 %) нарушенных и восстанавливающихся через стадию лиственных лесов фитоценозов отмечены на территории Лузско-Вычегодской равнины. Своеобразие ландшафтов увалистых частей заключалось в преобладании малонарушенных хвойных лесов зеленомошных (40.2 ÷ 49.9 %) и лишайниковых (9.2 ÷ 13.5%) формаций. На заболоченных ландшафтах рав-

нин показатели имели более низкие величины (30.7 ÷ 33.0 и 5.3 ÷ 8.6 % соответственно). Наибольшие площади болотных сообществ (до 18.2 %) отмечены на Вычегодско-Мезенской равнине. Ландшафты равнинной части характеризовались большей представленностью урбанизированных территорий (3.8 ÷ 4.1 %) и лугов, приуроченных к поймам главного русла (2.4 ÷ 2.6 %).

На территории Лузско-Вычегодской равнины (ЛВР) выделено преобладание комплексов ландшафтов аллювиальных песчаных равнин подзоны средней тайги. Рельеф представлен преимущественно водно-ледниковыми равнинами, выровненными в результате таяния ледника (Ильчуков, 2010). Степень заболоченности не превышает 2 %.

В анализ включены данные по малым и средним левобережным притокам Вычегды I–III порядка, в общей сложности: 4 средних и 22 малых. Наиболее крупные притоки р. Вычегды в этой зоне – Сысола и Локчим (см. рис. 1). Оба водотока (р. Сысола – протяженность 487 км и площадью водосбора 17200 км², р. Локчим – протяженность 272 км, площадь водосбора 6600 км²) – левобережные притоки I порядка. Реки имеют равнинный характер, практически на всем их протяжении наблюдается боковая эрозия (Зверева, 1955).

Дно большинства рек выстлано песками (табл. 1), в малых чаще отмечаются гравийно-галечные или валунные грунты, а на поверхности природного грунта на участках с замедленным течением скапливается детрит и наилкок.

Согласно ранним исследованиям (Власова, 1988) и полученным нами данным, высокая доля участия болотных вод в питании рек определяет преимущественно слабощелочную реакцию (рН = 7.4), высокую цветность вод (до 431 °С), обусловленную присутствием гумусовых веществ, и повышенное содержание железа (превышение ПДК_{рбх} до 18.8) (Нормативы..., 2010) (табл. 2). Изменчивость рН в водотоках не велика: коэффициент вариации составляет 9 %. Кислородный режим в них благоприятный: концентрация кислорода находится в диапазоне 6.2–13.1 мг/дм³. Для малых и средних притоков показатели минерализации не превышают значение рыбохозяйственного ПДК_{рбх} и изменяются в широком диапазоне: коэффициент вариации более 70 %. Однако во всех реках доминируют гидрокарбонатные ионы и ионы кальция.

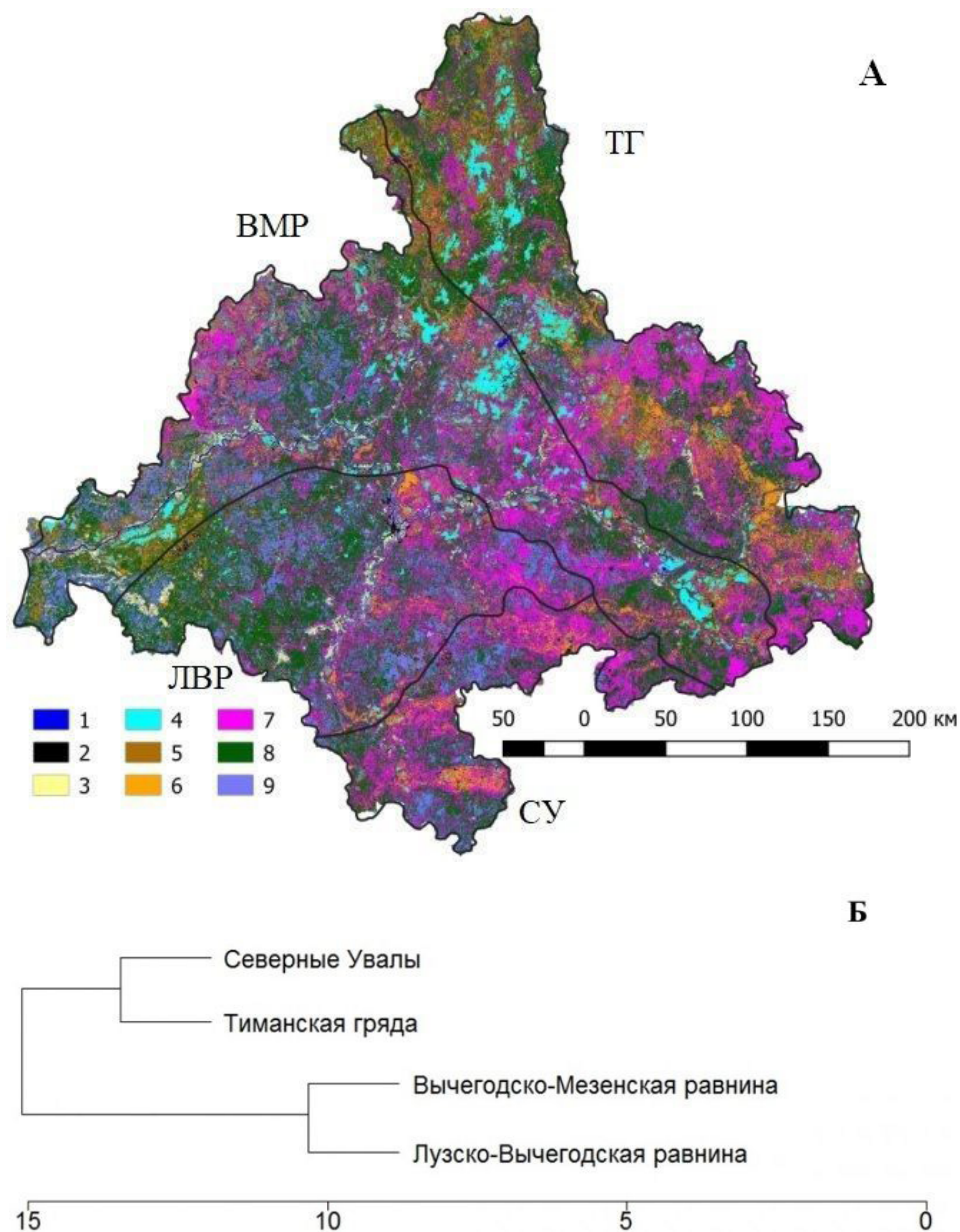


Рис. 2. Распределение доминирующих классов земной поверхности в пределах Вычегодского бассейна и выделенных ландшафтных районов (аббревиатурой отмечены: ВМР – Вычегодско-Мезенская равнина, ЛВР – Лузско-Вычегодская равнина, ТГ – Тиманская гряда, СУ – Северные Увалы). Цифрами обозначены классы: 1 – водные поверхности; 2 – урбанизированные и нарушенные территории; 3 – луга; 4 – болотные комплексы; 5 – сосновые сфагновые редколесья; 6 – сосняки зеленомошные лишайниковые; 7 – темнохвойные зеленомошные леса; 8 – смешанные елово-березовые леса; 9 – лиственные леса (А). Дендрограмма распределения сформированных кластеров выделенных ландшафтных зон по относительной представленности площадей доминирующих классов земной поверхности (эвклидово расстояние, метод группировки – UPGMA) (Б)

Fig. 2. The distribution of dominant classes on the earth's surface within the Vychegda river basin and selected landscape areas (the abbreviations are: VMR – Vychegodsko-Mezenskaya plain, LVR – Luzsko-Vychegodskaya plain, TG – Timan ridge, SU – Northern Uvaly). Classes are indicated by numbers: 1 – water surface; 2 – urbanized and disturbed areas; 3 – meadows; 4 – swamp complexes; 5 – pine sphagnum woodlands; 6 – green moss and lichen pine forests; 7 – dark coniferous green-moss forest; 8 – mixed spruce-birch forests; 9 – deciduous forests (A). The dendrogram of the formed clusters distribution of selected landscape zones according to the relative representation of the areas of the dominant classes of the earth's surface (Euclidean distance, grouping method – UPGMA) (B)

Таблица 1. Характеристика грунтов в малых и средних притоках р. Вычегда (% от общего числа проб)

| | ВМР | | ЛВР | | ТГ | |
|-----------|--------|---------|--------|---------|-------|---------|
| | малые | средние | малые | средние | малые | средние |
| | n = 16 | n = 3 | n = 22 | n = 4 | n = 7 | n = 7 |
| Песок | 87.5 | 100.0 | 86.4 | 100 | 100.0 | 100.0 |
| Галька | 37.5 | 66.7 | 63.6 | 25 | - | 57.1 |
| Гравий | 43.8 | 66.7 | 63.6 | 25 | 71.4 | 42.9 |
| Валуны | 12.5 | 33.3 | 9.1 | - | - | 28.6 |
| Детрит | 18.8 | 33.3 | 36.4 | 25 | 42.9 | 71.4 |
| Наиллок | 43.8 | 66.7 | 54.5 | 25 | 42.9 | 71.4 |
| Глина | - | 33.3 | 22.7 | 25 | - | 14.3 |
| Торф | 6.3 | 0.0 | 9.1 | 25 | - | - |
| Известняк | - | - | - | - | - | 14.3 |

Таблица 2. Гидрохимические показатели качества воды в малых (верхнее значение) и средних (нижнее значение) притоках р. Вычегды

| Показатель | Лузско-Вычегодская равнина | Вычегодско-Мезенская равнина | Тиманская гряда |
|---|----------------------------|------------------------------|-----------------|
| Водородный показатель, рН | 4.53 ÷ 8.2 | 5.44 ÷ 8.6 | 5.73 ÷ 8.27 |
| | 7.2 ± 0.1 | 7.3 ± 0.3 | 7.4 ± 0.13 |
| Электропроводность, мкСм/см | 33.0 ÷ 620.0 | 32.2 ÷ 220.0 | 79.0 ÷ 280.0 |
| | 175.1 ± 28.1 | 162.1 ± 25.4 | 175.6 ± 16.5 |
| Сумма ионов, мг/дм ³ | 26.0 ÷ 611.4 | 15.6 ÷ 310.0 | 66.5 ÷ 253.1 |
| | 175.5 ± 21.7 | 238.3 ± 39.7 | 157.6 ± 13.0 |
| Цветность, °С | 22.0 ÷ 431.9 | 20.0 ÷ 311.0 | 37.0 ÷ 310.0 |
| | 156 ± 23.4 | 105 ± 27.3 | 129.6 ± 25.4 |
| Перманганатная окисляемость, мг/дм ³ | 5.9 ÷ 56.0 | 4.0 ÷ 40.0 | 4.9 ÷ 30.0 |
| | 34.6 ± 5.5 | 13.5 ± 3.4 | 13.9 ± 2.5 |
| ХПК, мг/дм ³ | 12.0 ÷ 109.0 | 21.0 ÷ 76.0 | 17.0 ÷ 68.0 |
| | 52.3 ± 6.2 | 45.5 ± 7.6 | 38.8 ± 5.8 |
| Главные ионы (мг/дм³) | | | |
| Хлориды, Cl ⁻ | 0.5 ÷ 7.2 | 0.74 ÷ 5.0 | 0.58 ÷ 1.2 |
| | 1.9 ± 0.2 | 2.5 ± 0.4 | 0.9 ± 0.04 |
| Сульфаты, SO ₄ ²⁻ | 0.06 ÷ 390.0 | 1.1 ÷ 150.0 | 0.28 ÷ 31.0 |
| | 12.9 ± 9.9 | 34.9 ± 11.0 | 10.2 ± 2.4 |
| Кальций, Ca ₂₊ | 5.7 ÷ 137.0 | 4.0 ÷ 78.2 | 13.2 ÷ 50.7 |
| | 29.6 ± 4.5 | 43.2 ± 7.4 | 28.3 ± 2.9 |
| Натрий, Na ⁺ | 0.09 ÷ 15.8 | 0.08 ÷ 26.9 | 1.06 ÷ 5.3 |
| | 6.2 ± 0.7 | 10.4 ± 2.6 | 2.7 ± 0.4 |

Таблица 2. Продолжение

| Показатель | Лузско-Вычегодская равнина | Вычегодско-Мезенская равнина | Тиманская гряда |
|---|----------------------------|------------------------------|-----------------|
| Калий, K ⁺ | 0.22 ÷ 7.7 | 0.26 ÷ 2.5 | 0.2 ÷ 1.56 |
| | 1.3 ± 0.2 | 0.8 ± 0.2 | 0.5 ± 0.1 |
| Гидрокарбонаты, HCO ₃ ⁻ | 0.2 ÷ 300.0 | 6.6 ÷ 250.1 | 46.0 ÷ 176.0 |
| | 125.7 ± 14.4 | 138.6 ± 19.5 | 109.5 ± 9.8 |
| Магний, Mg ²⁺ | 1.2 ÷ 23.9 | 0.98 ÷ 25.5 | 3.0 ÷ 14.0 |
| | 6.2 ± 0.8 | 7.9 ± 1.6 | 6.7 ± 0.8 |
| Биогены | | | |
| P _{мин} , мг/дм ³ | 0.003 ÷ 0.94 | 0.007 ÷ 0.049 | 0.013 ÷ 0.043 |
| | 0.08 ± 0.04 | 0.023 ± 0.004 | 0.024 ± 0.003 |
| P _{общ} , мг/дм ³ | н/о | 0.011 ÷ 0.073 | 0.023 ÷ 0.07 |
| | | 0.04 ± 0.008 | 0.048 ± 0.01 |
| NO ₃ , мг/дм ³ | 0.017 ÷ 0.21 | < 0.010 | < 0.010 |
| | 0.08 ± 0.01 | | |
| N-NH ₄ , мг/дм ³ | 0.01 ÷ 0.48 | 0.022 ÷ 0.25 | < 0.020 |
| | 0.15 ± 0.03 | 0.11 ± 0.04 | |
| N _{общ} , мг/дм ³ | 0.14 ÷ 0.87 | 0.26 ÷ 0.43 | 0.14 ÷ 0.38 |
| | 0.28 ± 0.05 | 0.35 ± 0.06 | 0.11 ± 0.04 |
| Fe _{общ} , мг/дм ³ | 0.07 ÷ 1.88 | 0.01 ÷ 0.74 | 0.08 ÷ 1.37 |
| | 0.86 ± 0.09 | 0.31 ± 0.05 | 0.49 ± 0.12 |

Примечание. Числитель – диапазон варьирования минимальных и максимальных значений, знаменатель – среднее.

Ландшафты подзоны средней тайги **Вычегодско-Мезенской равнины (ВМР)** представлены аллювиальными низменными равнинами. Помимо водно-ледниковых равнин на этой территории встречается такая форма рельефа, как озерно-ледниковые равнины – выровненные формы рельефа на месте днищ бывших приледниковых озерных бассейнов. Основной тип почвообразующих пород – песчаные или моренные суглинки, характеризующиеся высокой степенью дренированности и большей, по сравнению с Лузо-Вычегодской равниной, степенью заболоченности.

В анализ данных включены реки Вымень, Вишера и их притоки, также правобережные малые притоки р. Вычегды различного порядка на участке от с. Керчомье до впадения р. Локчим. Всего изучено 16 малых и 3 средних водотока (см. рис. 1). Вымень – крупнейший правый приток Вычегды, протекаю-

щий по территории равнины (499 км, 25600 км²). На большем протяжении русла р. Вымень носит спокойный характер, но местами становится порожистой и отличается наличием глубинной эрозии.

Донные отложения рек в верховьях большинства правых притоков представлены каменистыми, галечно-песчаными грунтами (см. табл. 1), которые сменяются илисто-песчаными или песчаными и глинистыми грунтами, а в устьевых зонах рек преимущественно – заиленными песками.

На формирование химического состава правых притоков Вычегды сильное влияние оказывает приближенность Тиманского кряжа. По нашим данным, для рек характерна вариабельность показателя pH: от слабокислой (5.4) до щелочной (8.6) при коэффициенте вариации 14 %. Насыщение вод кислородом благоприятное и составляет 4.5–14.9 мг/дм³. В водотоках зарегистрированы наи-

большие показатели минерализации, которые варьируют в широких пределах (коэффициент вариации составляет более 60 %). Среди ионов доминируют катионы Ca^{2+} и анионы HCO_3^- и SO_4^{2-} , при этом с повышением минерализации увеличивается роль SO_4^{2-} . Цветность воды в этих притоках хоть и изменяется в широких пределах (см. табл. 2), однако остается несколько ниже, чем, например, в левобережных реках Лузско-Вычегодской равнины. Среди биогенных элементов содержание минерального фосфора в этих притоках незначительно (см. табл. 2). В азотной группе содержание нитритной и аммонийной групп не превышают таковых показателей для рек других зон, в отличие от общего азота, концентрации которого выше в реках Вычегодско-Мезенской равнины, и изменения его незначительны (коэффициент вариации составлял около 40 %).

Ландшафты Тиманской среднетаежной провинции (**Тиманская гряда – ТГ**) характеризуются как возвышенности, приуроченные к метаморфическим и осадочным породам, местами с грядовым рельефом с елово-пихтовыми лесами на глеевых почвах, или как слабо расчлененная возвышенная равнина с карстовыми формами на палеозойских породах, или как зандровая равнина с сосновыми лесами на железистых подзолах с карстовыми формами. Большинство ландшафтов этой зоны сходно по типу рельефа, представленному возвышенными равнинами, образованными продуктами разрушения гор и выпуклостей, отложением продуктов выветривания в понижениях рельефа. Основной тип почвообразующих пород в этих ландшафтах песчаные, моренные суглинки или слабо галечниковые, а типы почв – подзолистые или болотно-подзолистые. Степень заболоченности района не более 6 %.

На территории Тиманской гряды исследованы 7 малых и 7 средних притоков различного порядка, верхнее течение р. Вымь с притоками (см. рис. 1). Самые крупные притоки р. Вычегды в этой зоне: реки Нем (260 км, 4230 км²), Воль (174 км, 1810 км²), Южная Мылва (132 км, 1510 км²), Лопь-ю (131 км, 1310 км²). Правобережные притоки (Воль, Пузла, Пожег, Вымь в верхнем течении) прорезают своими истоками Тиман. В области Тиманского кряжа течение рек отличается стремительностью и порожистостью, ниже, в пределах развития постплиоценовых отложений, скорость течения снижается.

Дно рек, пересекающих Южный Тиман,

выстлано валунно-галечными грунтами (см. табл. 1), часто покрытыми намывами песка, в низовьях этих рек на дне часто распространены пески. Другие реки, берущие начало на равнинных ландшафтах, характеризуются преобладанием песчаных грунтов, в устьевых зонах часто заиленных или покрытых слоем скопившегося детрита.

По химическому составу вод притоки р. Вычегды, протекающие по территории Тиманской гряды, сильно различаются (Власова, 1988). Согласно данным, полученным ранее (Власова, 1988), и результатам наших наблюдений, по концентрации водородных ионов (м. табл. 2) воды притоков имеют слабощелочную реакцию (коэффициент вариации 6 %). Кислородный режим рек благоприятный. Во все периоды исследований отмечается высокая минерализация вод. Состав вод преимущественно гидрокарбонатно-кальциевый. Раньше (Власова, 1988; Шубина, 2006) для ряда притоков указывался сульфатно-кальциевый состав вод за счет распространения в бассейнах этих рек гипсоносных пород. В наших исследованиях анионы SO_4^{2-} выделяются в составе главных ионов, но доминируют во всех притоках HCO_3^- . Из биогенных элементов относительно высоко содержание железа, изменчивость этого показателя между притоками невысока (коэффициент вариации составляет 8 %). Показатели цветности в водотоках варьируют в широких пределах (коэффициент вариации 66 %). Наибольшие показатели цветности зафиксированы в притоках, протекающих по болотистой местности.

Ландшафты подзоны средней тайги **Северных Увалов (СУ)** характеризуются как ярусные возвышенные равнины, приуроченные к осадочным породам, с сосновыми лесами или как моренная равнина с еловыми лесами на подзолистых, подзолисто-железистых или болотно-подзолистых почвах. Преобладающий тип почвообразующих пород на этой территории – песчаные или пылеватые суглинки. Степень заболоченности района не более 8 %. К территории относятся верхние течения рек Сысола и Локчим, отдельные участки притоков Северной Кельтмы.

Известно, что ландшафты прямо или косвенно влияют на структуру и состав биологических сообществ (Sandin, Johnson, 2004). Например, водосбор воздействует на прибрежные зоны, субстраты и гидрологический режим, и, как следствие, на места обитания организмов, определяя простран-

ственные закономерности в структуре и составе водных сообществ (Townsend et al., 2003). Опираясь на это, мы провели анализ количественных показателей развития донных и планктонных сообществ беспозвоночных в масштабах бассейна одной крупной реки – Вычегды, объединив ее средние и малые притоки в группы по расположению в выделенных ландшафтных зонах.

Состав бентоса в водотоках **Лузско-Вычегодской равнины** разнообразен. Всего здесь отмечено 26 таксономических групп (табл. 3), при этом в малых притоках их число заметно выше, чем в средних. На песчано-галечных и песчано-гравийных, часто заиленных или покрытых детритом грунтах

малых притоков, независимо от их порядка, развивается сходная по количественным характеристикам фауна. В средних притоках как численность, так и биомасса бентоса ниже (рис. 3А, Б), чем в малых. Состав доминирующих групп бентоса в малых реках в целом сходен. Абсолютным доминантом во всех типах и порядках притоков являются личинки Chironomidae. В малых притоках им сопутствуют преимущественно Oligochaeta и Mollusca. Также велика доля мейобентических Crustacea в общей численности и личинок нехируномидных групп амфибиотических насекомых с преобладанием личинок Ephemeroptera – в общей биомассе бентоса.

Таблица 3. Распределение численности ($N \pm m$) и биомассы ($B \pm m$) зообентоса в притоках р. Вычегда
Table 3. Distribution of abundance ($N \pm m$) and biomass ($B \pm m$) of zoobenthos in tributaries of the Vycheгда River

| Типы рек Порядок притока | Малые (10–100 км) | | | Средние (100–1000 км) | | |
|-------------------------------------|-------------------|-------------|------------|-----------------------|-------------|-----|
| | I | II | III | I | II | III |
| Лузско-Вычегодская равнина | | | | | | |
| Число групп | 22 (n = 16) | 26 (n = 84) | 18 (n = 4) | 23 (n = 27) | 16 (n = 6) | нд |
| N, тыс. экз./м ² | 11.4 ± 3.7 | 10.6 ± 1.4 | 9.7 ± 2.5 | 3.1 ± 0.8 | 3.4 ± 0.9 | нд |
| B, г/м ² | 1.7 ± 0.4 | 3.3 ± 0.6 | 2.7 ± 0.6 | 0.8 ± 0.2 | 0.9 ± 0.4 | нд |
| Доминирующие группы (N/B), %: | | | | | | |
| <i>Chironomidae</i> , lv | 38.0/13.7 | 40.5/39.5 | 35.3/33.1 | 58.7/33.1 | 71.5/16.8 | нд |
| <i>Crustacea</i> | 28.6/- | - | 25.8/- | 13.5/- | - | нд |
| <i>Oligochaeta</i> | - | 24.0/13.7 | - | - | - | нд |
| <i>Mollusca</i> | - | -/14.7 | 13.3/36.4 | - | - | нд |
| пр. амф.* | -/51.5 | - | - | 12.1/39.4 | -/72.4 | нд |
| Вычегодско-Мезенская равнина | | | | | | |
| Число групп | 22 (n = 17) | 19 (n = 46) | 13 (n = 3) | 25 (n = 56) | 20 (n = 4) | нд |
| N, тыс. экз./м ² | 5.6 ± 1.2 | 9.7 ± 3.7 | 3.0 ± 2.6 | 7.4 ± 2.7 | 24.5 ± 13.2 | нд |
| B, г/м ² | 1.2 ± 0.3 | 1.8 ± 0.5 | 0.6 ± 0.4 | 1.1 ± 0.3 | 1.4 ± 0.5 | нд |
| Доминирующие группы (N/B), %: | | | | | | |
| <i>Chironomidae</i> , lv | 46.7/13.3 | 41.4/21.8 | 78.6/22.5 | 37.7/24.9 | 28.8/14.7 | нд |
| <i>Crustacea</i> | - | 29.5/- | - | 21.2/- | 55.1/47.2 | нд |

Таблица 3. Продолжение

| Типы рек | Малые (10–100 км) | | | Средние (100–1000 км) | | |
|-------------------------------|-------------------|------------|-------------|-----------------------|------------|-------------|
| | I | II | III | I | II | III |
| <i>Oligochaeta</i> | - | - | -/49.5 | - | - | нд |
| пр. амф.* | 28.3/62.2 | 20.2/55.3 | - | -/37.0 | -/24.2 | нд |
| Тиманская гряда | | | | | | |
| Число групп | 22 (n = 7) | 19 (n = 4) | 20 (n = 3) | 32 (n = 29) | 18 (n = 2) | 20 (n = 2) |
| N, тыс. экз./м ² | 4.6 ± 2.8 | 23.5 ± 8.8 | 41.1 ± 12.4 | 13.1 ± 3.3 | 45.7 ± 9.3 | 35.3 ± 23.6 |
| B, г/м ² | 1.0 ± 0.3 | 4.5 ± 1.8 | 4.1 ± 0.6 | 2.3 ± 0.6 | 3.1 ± 0.3 | 4.5 ± 0.4 |
| Доминирующие группы (N/B), %: | | | | | | |
| <i>Chironomidae</i> , lv | 37.4/26.5 | 72.9/24.9 | 33.6/20.7 | 44.0/27.0 | 41.7/19.1 | 31.1/- |
| <i>Crustacea</i> | 23.7/- | - | - | 19.4/- | 46.5/48.7 | 24.9/- |
| <i>Oligochaeta</i> | - | - | 18.6/20.5 | -/14.9 | -/24.2 | -/13.3 |
| <i>Mollusca</i> | -/17.0 | - | - | - | - | - |
| пр. амф.* | -/38.6 | -/49.3 | 24.8/23.6 | 18.1/30.4 | - | 35.2/60.2 |

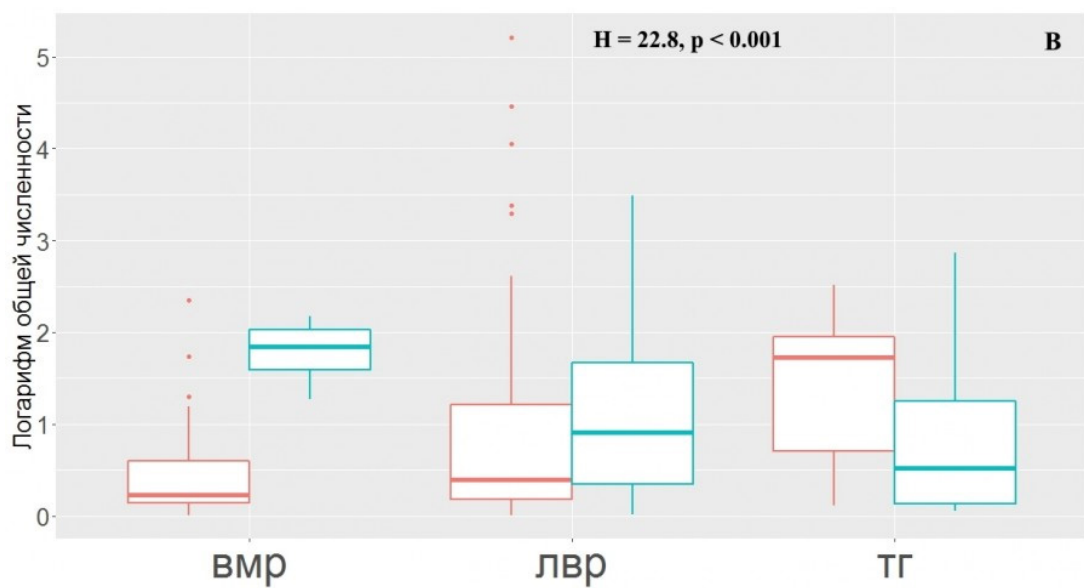
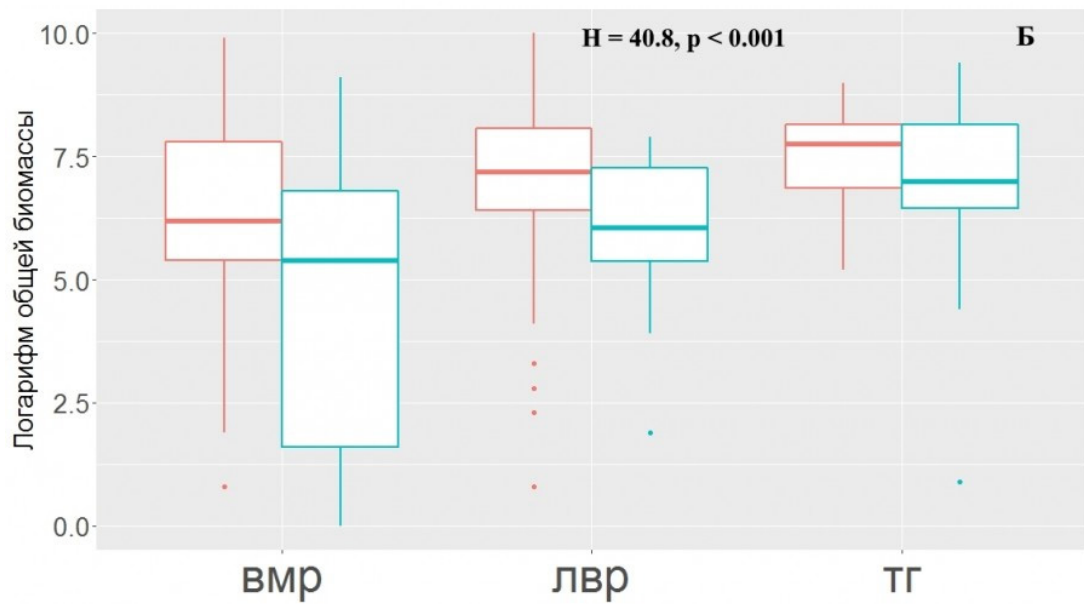
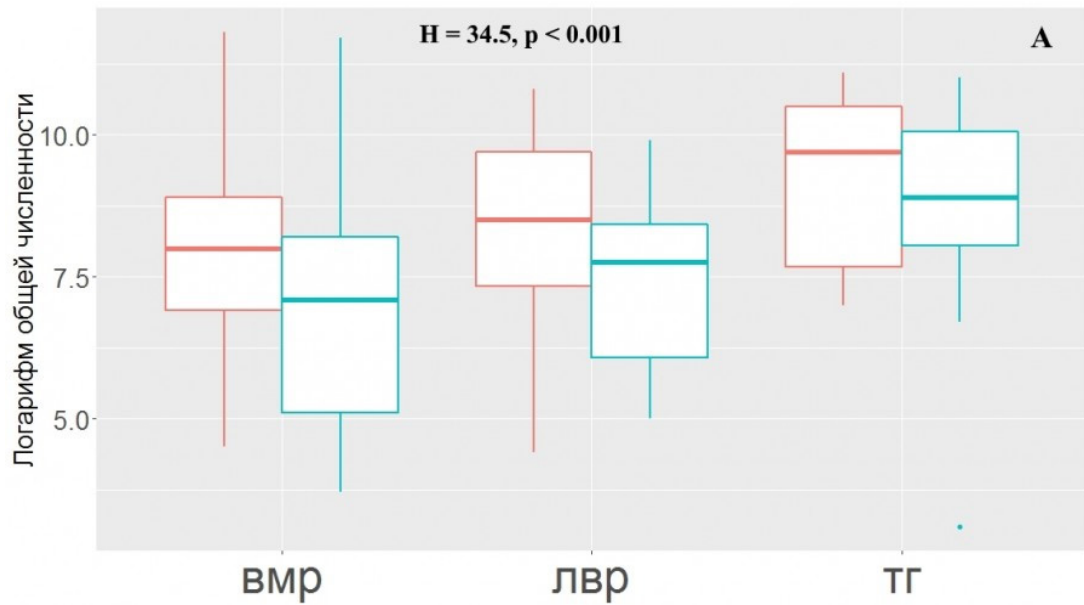
Примечание. Здесь и далее: пр. амф.* – прочие амфибиотические насекомые, кроме Chironomidae: Ephemeroptera; Plecoptera; Trichoptera; Megaloptera; прочие Diptera. Crustacea – мелкие бентические ракообразные: Cladocera, Harpacticoida, др. Copepoda, Ostracoda. n – число проб. «-» – группа не является доминирующей по показателю, нд – нет данных.

Зоопланктон в этих реках отличается относительно высокими количественными показателями (табл. 4). Обилие планктонных организмов обусловлено доминированием во всех типах притоков веслоногих раков (Copepoda) и колероваток (Rotifera). Притоки р. Вычегды на этом участке в силу особенностей рельефа и типов грунтов отличаются развитием стариц, прирусловых озер и многочисленных заводей, зачастую заросших водными макрофитами. В водотоках, вне зависимости от их типа и порядка, можно наблюдать богатые видами планктонные сообщества, образующие значительные показатели численности и биомассы. Кроме того, большое значение для обогащения речной планктонной фауны здесь имеют и пойменные озера (Кононова, 2009), которые служат рефугиумами, пополняя и возобновляя состав зоопланктона рек, обедненных вследствие влияния природных и антропогенных факторов.

В реках **Вычегодско-Мезенской равнины** отмечено 22 таксономические группы донных беспозвоночных (см. табл. 3). Наиболее

разнообразен зообентос в притоках I и II порядков. Так, в притоках II порядка бассейна Выми, на преобладающих в верхних участках русла каменистых, часто с обрастаниями грунтах отмечаются наибольшие показатели развития зообентоса, которые формируются за счет личинок амфибиотических насекомых (от 40 до 80 % общей численности бентоса), преимущественно Chironomidae, Ephemeroptera, Trichoptera. За счет развития этих же групп отмечаются высокие значения биомассы бентоса в указанных водотоках. На песчаных грунтах правых и левых притоков основу численности зообентоса составляют личинки Chironomidae, Nematoda, Oligochaeta и мелкие ракообразные (Cladocera, Ostracoda). Эти же группы макробентоса совместно с Mollusca формируют основу его биомассы.

Вместе с тем в малых водотоках Вычегодско-Мезенской равнины отмечены низкие показатели количественного развития зоопланктона (см. табл. 4). Как и в большинстве рек Вычегодского бассейна, в планктонном сообществе преобладают веслоногие раки и



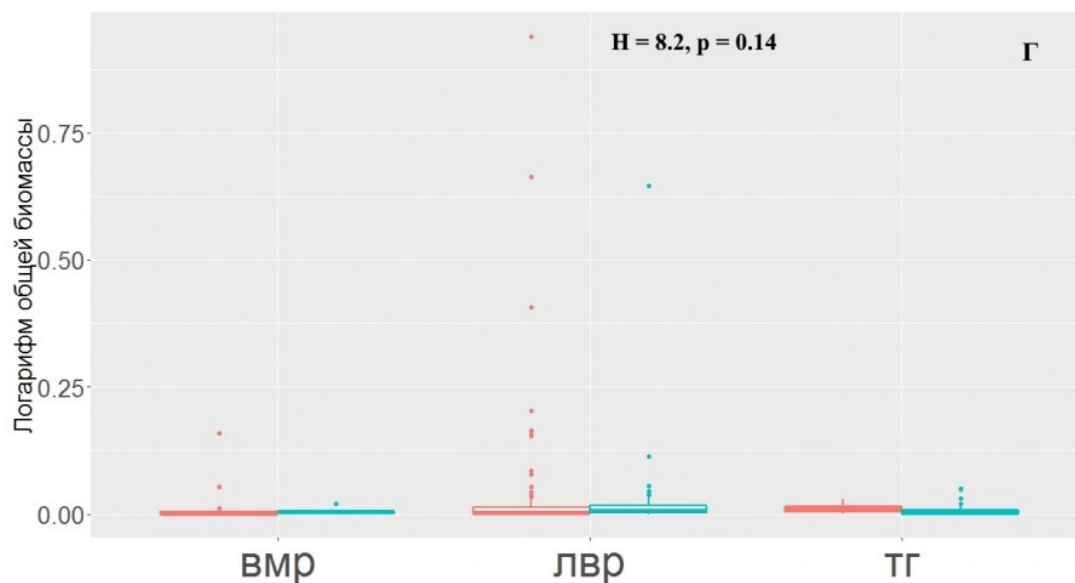


Рис. 3. Бокс-плоты по численности и биомассе для зообентоса (А, Б) и зоопланктона (В, Г). Цветом выделены малые (красный) и средние (зеленый) водотоки. Аббревиатурой отмечены выделенные ландшафтные единицы (ось X): ВМР – Вычегодско-Мезенская равнина; ЛВР – Лузско-Вычегодская равнина; ТГ – Тиманская гряда. По оси ординат логарифмы значений рассмотренных показателей. Представлены медиана – горизонтальные полосы, межквартильный сегмент – коробка, полный диапазон данных – линии разброса. Отмечены значения критерия Краскелла – Уоллиса (H)

Fig. 3. Box rafts by abundance and biomass for zoobenthos (A, B) and zooplankton (B, G). Small (red) and medium (green) watercourses are highlighted in color. The abbreviation indicates the selected landscape units (X axis): VMR – Vychegodsko-Mezenskaya plain; LVR – Luzsko-Vychegodskaya plane; TG – Timan ridge. The Y-axis – the logarithms of the values of the considered indicators. In the scheme: median – horizontal stripes, interquartile segment – box, full data range m scatter lines are presented. The values of the Kruskal – Wallis test (H) are noted

Таблица 4. Распределение численности ($N \pm m$) и биомассы ($B \pm m$) зоопланктона в притоках р. Вычегды

| Типы рек | Малые (10–100 км) | | | Средние (100–1000 км) | | | |
|-------------------------------------|--------------------|------------------------|------------------------------|-----------------------|-----------------------|----------------------|-----|
| | Порядок притока | I | II | III | I | II | III |
| Лузско-Вычегодская равнина | | | | | | | |
| N, тыс. экз./м ³ | | 27.0 ± 22.5 (n = 8) | 3.3 ± 1.1 (n = 98) | 1.1 ± 0.7 (n = 3) | 3.7 ± 0.9 (n = 42) | 4.3 ± 2.1 (n = 6) | нд |
| B, г/м ³ | | 0.185 ± 0.125 | 0.032 ± 0.016 | 0.020 ± 0.017 | 0.035 ± 0.021 | 0.016 ± 0.008 | нд |
| Доминирующие группы (N/B), %: | | | | | | | |
| <i>Copepoda</i> | | 49.0/76.0 | 41.0/55.0 | 55.0/92.0 | - | 46.0/65.0 | нд |
| <i>Rotifera</i> | | 45.0/- | 46.0/- | 42.0/- | 59.0/50.0 | 45.0/- | нд |
| Вычегодско-Мезенская равнина | | | | | | | |
| N, тыс. экз./м ³ | | 0.7 ± 0.3 (n = 15) | 113.5 ± 112.0 (n = 11) | 0.34 (n = 1) | 5.3 ± 0.8 (n = 6) | нд | нд |
| B, г/м ³ | | 0.017 ± 0.012 | 2.025 ± 2.017 | 0.03 | 0.007 ± 0.003 | нд | нд |

Таблица 4. Продолжение

| Типы рек | Малые (10–100 км) | | | Средние (100–1000 км) | | |
|-------------------------------|----------------------|-------------|-------------|------------------------|-------------|-------------|
| | I | II | III | I | II | III |
| Порядок притока | | | | | | |
| Доминирующие группы (N/B), %: | | | | | | |
| <i>Copepoda</i> | 51.0/62.0 | - | 71.0/84.0 | - | нд | нд |
| <i>Rotifera</i> | 32.0/- | 44.0 | - | 85.0/40.0 | нд | нд |
| <i>Cladocera</i> | - | 35.0/48.0 | - | -/47.0 | нд | нд |
| Тиманская гряда | | | | | | |
| N, тыс. экз./м ³ | 3.8 ± 1.7 (n = 6) | 6.9 (n = 1) | 5.8 (n = 1) | 12.7 ± 8.0 (n = 31) | 1.5 (n = 1) | 5.0 (n = 1) |
| B, г/м ³ | 0.015 ± 0.005 | 0.011 | 0.020 | 0.028 ± 0.015 | 0.006 | 0.032 |
| Доминирующие группы (N/B), %: | | | | | | |
| <i>Copepoda</i> | 38.0/33.0 | -/51.0 | - | -/36.0 | 38.0/38.0 | -/58.0 |
| <i>Rotifera</i> | 59.0/59.0 | 99.0/49.0 | 61.0/- | 65.0/41.0 | 44.0/- | 58.0/- |
| <i>Cladocera</i> | - | - | -/76.0 | - | -/52.0 | -/33.0 |

коловратки (см. табл. 4). В ряде притоков второго порядка большее значение имеют ветвистоусые раки – представители семейств Chydoridae, Daphniidae и рода *Bosmina*.

В водотоках, протекающих по территории **Тиманской гряды**, донное население представлено 27 таксономическими группами (см. табл. 3), при этом более разнообразно оно в малых и средних притоках I порядка (22 и 27 групп соответственно). На песчаных с наилком, местами мелким гравием грунтах этих водотоков отмечаются и максимальные показатели численности, которая формируется преимущественно за счет численности личинок Chironomidae, местами Oligochaeta и мейобентических ракообразных (см. табл. 3), и биомассы бентоса, которая формируется также в основном за счет личинок хирономид, Nematoda и Oligochaeta. Количественные показатели развития бентосного населения варьируют в широких пределах и отличаются по порядкам притоков (табл. 5).

В зоопланктоне рек Тиманской гряды лидируют коловратки (см. табл. 4), что обусловлено, в большей мере, полугорным характером водотоков. Течение и практически отсутствие высших водных растений в руслах рек Тиманской гряды определяют низкие количественные показатели зоопланктона. Лидируют в планктонных сообществах ко-

ловратки (см. табл. 4), в основном за счет форм, обитающих в прибрежье. Наибольшая численность планктонных ракообразных отмечена в средних притоках I порядка.

Ординация результатов измерений численности и массы бентоса методом многомерного неметрического шкалирования (NMDS) показала наличие и формирование ядер по показателям общей численности (рис. 4А) и биомассы (рис. 4Б) у полярных групп выделенных ландшафтных районов: Вычегодско-Мезенской (синий) и Тиманский (красный). Промежуточное положение занимает группа Лузско-Вычегодской равнины (зеленый). Ядро ВМР обнаруживает большее приближение к ЛВР, что, вероятнее всего, обусловлено преобладанием равнинных ландшафтов в обеих зонах (см. рис. 2Б). Взаимные «проникновения» и размытый характер выделенных групп сформированы сходством наблюдаемых величин и многообразием экологических условий, как природных, так и антропогенных, в малых и средних водотоках. Для зоопланктона группирование показателей не выявлено.

Обсуждение

В настоящее время на территории многих российских регионов наблюдается ухудшение ландшафтно-экологического состояния

Таблица 5. Сравнение медианных значений численности и биомассы основных групп организмов по 16 выделенным группам водоемов

| Группа | Численность | | Биомасса | |
|--------------------------------------|-------------|-----------|----------|-----------|
| | Н | р | Н | р |
| Зообентос | | | | |
| Chironomidae, lv | 42.012 | 0.00022* | 29.212 | 0.01510 |
| Oligochaeta | 71.543 | 0.000001* | 58.087 | 0.000001* |
| Mollusca | 57.108 | 0.000001* | 52.258 | 0.00001* |
| Прочие амфибиотические насекомые, lv | 51.446 | 0.00001* | 50.169 | 0.00001* |
| Crustacea | 82.237 | 0.000001* | 83.037 | 0.000001* |
| Зоопланктон | | | | |
| Rotatoria | 37.37067 | 0.00065* | 44.77475 | 0.00004* |
| Cladocera | 25.26067 | 0.03208 | 19.66798 | 0.14096 |
| Copepoda | 13.97582 | 0.45151 | 16.89717 | 0.26170 |

Примечание. Н – значение критерия Краскела – Уоллиса, р – уровень значимости, * – выделены значимо ($p < 0.01$) различающиеся группы. Бентосные ракообразные Crustacea – Cladocera, Ostracoda, Naupacoida, другие Copepoda; прочие амфибиотические насекомые – кроме Chironomidae: Ephemeroptera, Plecoptera, Trichoptera, Megaloptera и прочие Diptera.

бассейнов малых рек. Об этом свидетельствует снижение ландшафтного разнообразия, сокращение пойм, увеличение площади земель, подверженных эрозии и загрязнению, деградация лесных комплексов (Сохранение..., 2008; Жигулина, Михно, 2013, 2015; Богатов, Федоровский, 2017). Возникающая при этом экологическая напряженность сказывается на водосборах средних и крупных водотоков (Ткачев, Булатов, 2002). В связи с этим формируется задача поддержания оптимальных ландшафтно-экологических условий на территории бассейнов малых рек, решение которой требует разносторонней информации об их природных особенностях, состоянии и направленности развития (Михно и др., 2018).

Исторически сложившиеся и антропогенно изменяющиеся ландшафты бассейнов воздействуют на разнообразие речных систем (Богатов, 2013; Богатов, Федоровский, 2017; Зинченко и др., 2018; Ivicheva et al., 2018). Вследствие своеобразия географического положения региона и особенностей природных условий в бассейне р. Вычегды формируются уникальные комплексы, соответствующие типам рельефа, подстилающих и преобладающих почв, типам растительности, степени дренирования и заболоченности территории. Они характеризуются мозаичностью экосистем и биотопов, наличием

локальных флор и фаун с повышенным биологическим разнообразием (Мартыненко и др., 2008; Кононова, 2009; Baturina, 2012; Шушпанникова, Ямалов, 2012; Батурина и др., 2016 и т. д.), включающим в том числе редкие виды, занесенные в Красную книгу Республики Коми. Вместе с тем функционирование экосистем большинства малых притоков р. Вычегды оказывается под прессом антропогенного влияния, комплексный эффект от которого на бассейновые ландшафты вызывает изменения гидрологического режима, почвенного покрова, микроклимата и т. д., определяя перестройки сообществ животного населения водоемов. Отдельные сведения об этом приводятся в работах (Шубина, 2006, 2010; Кононова и др., 2008; Батурина и др., 2017).

Река Вычегда и ее притоки, протекая в широтном и меридиональном направлении, пересекают Лузско-Вычегодскую и Вычегодско-Мезенскую равнины, Тиманскую гряду и Северные Увалы. Разнородность складывающихся на этой территории геологических, геоморфологических и гидрологических условий оказывает влияние на неоднородность химического состава поверхностных вод ее бассейна. Так, в реках, пересекающих Тиманский кряж, нами отмечается повышенная минерализация, вероятно, за счет питающих их грунтовых вод (Полета-

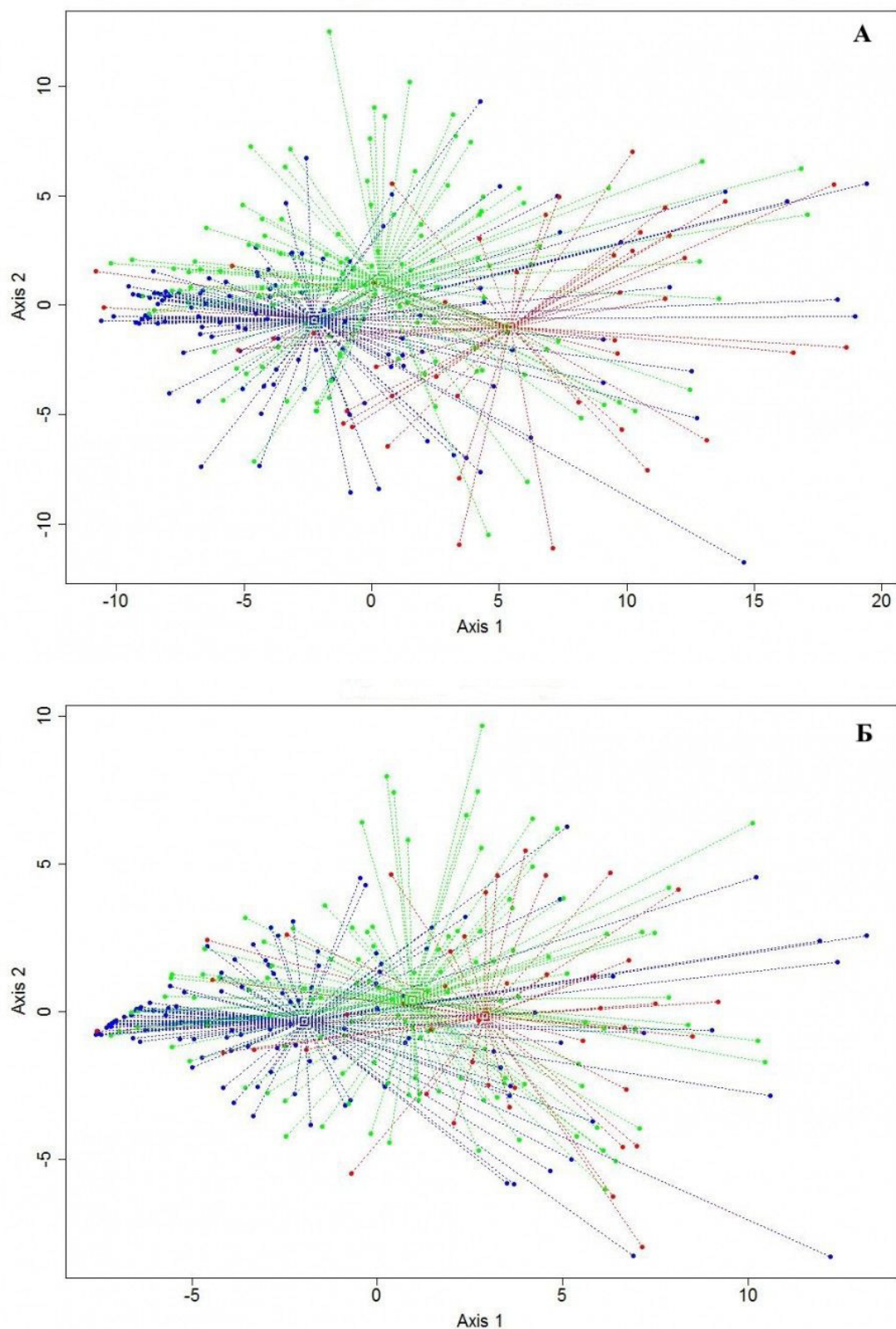


Рис. 4. Ординационные диаграммы многомерного неметрического шкалирования (NMS), отражающие параметры общей численности (А) и биомассы (Б) для зообентоса Вычегодско-Мезенской (синий), Лузско-Вычегодской (зеленый) и Тиманской (красный) ландшафтных зон

Fig 4. Ordination diagrams of nonmetric multidimensional scaling (NMS), defining grouping of species/sites (A) and the biomass for zoobenthos for Vyчегодско-Mezenskaya (blue), Luzsko-Vyчегодskaya (green) and Timan (red) landscape zones

ев, 1962). Воды притоков, протекающих по территории Лузско-Вычегодской равнины, более других обогащены органическими веществами. Кроме того, высокое содержание главных ионов, отмеченное для ряда рек, связано с распространением по этой территории пластово-поровых вод юрских отложений с преобладанием гидрокарбонатных анионов и катионов кальция (Полетаев, 1962). Водотоки Вычегодско-Мезенской равнины часто в верховьях попадают под влияние Тиманского кряжа, что определяет их горный характер и является причиной высокой минерализации их вод, снижающейся с выходом рек на равнину.

Разнообразие условий в каждой ландшафтной зоне определяет вариации планктонных и донных сообществ текущих по ним рек. На различных грунтах вычегодских притоков, протекающих по территории Тиманской гряды, численность и биомасса донной фауны превышают таковые показатели для водотоков Вычегодско-Мезенской и Лузско-Вычегодской равнин (см. рис. 3А, Б). Наименьшие численность и биомасса бентоса установлены в реках Вычегодско-Мезенской равнины. При этом количественные показатели развития зообентоса в малых реках зачастую превышают таковые в средних (см. рис. 3А, Б). В составе зообентоса всех исследованных притоков р. Вычегды отмечены 32 таксономические группы донных беспозвоночных. Состав групп в малых водотоках (29 групп) близок к средним притокам (28). Однако водотоки исследованных ландшафтных зон различаются количественными характеристиками развития доминирующих групп (см. табл. 5). Так, в притоках Вычегды, протекающих по территории Тиманской гряды и Вычегодско-Мезенской равнины, к числу доминантов чаще всего относятся личинки амфибиотических насекомых. В притоках, протекающих по Лузо-Вычегодской равнине, по численности и биомассе преобладают личинки хирономид, моллюски, малощетинковые черви, а среди мейобентоса – низшие ракообразные.

В отличие от бентосных сообществ максимальные показатели количественного развития планктонных организмов отмечены для водотоков Вычегодско-Мезенской равнины. Наибольшие показатели количественного развития зоопланктона были характерны для равнинных средних рек (см. рис. 3В, Г), в то время как в реках Тиманской гряды, отличающихся высокими скоростями течения, напротив, высокой численности зо-

опланктон достигал в малых реках. Доминировали в планктонных сообществах преимущественно веслоногие раки и коловратки.

Установленные в результате проведенного анализа закономерности в распределении планктонных и бентосных беспозвоночных в исследованных водотоках согласуются с данными (Шитиков и др., 2012), что организмы макрозообентоса более чувствительны по отношению к условиям среды, которые определяются типом ландшафта, и это отражается на таксономическом составе и количественных характеристиках донных сообществ. Планктонные организмы более пластичны, а их распределение в реках в большей мере зависит от особенностей гидрологии и морфологии водотока. При этом наибольшие показатели развития зоопланктона отмечены в равнинных реках, в руслах которых есть старицы и участки с замедленным течением, часто заросшие водными макрофитами, а наименьшие – в притоках, имеющих полугорный характер.

Заключение

Высокое ландшафтное разнообразие структурных элементов бассейна р. Вычегды определяет множество естественных и антропогенных факторов, влияющих на экосистемы ее средних и малых притоков. При недостаточной гидрологической изученности территории ландшафтное районирование является начальной базовой ступенью для географических обобщений.

Привлечение картографических методов и возможностей ГИС для выполняемого исследования позволило комплексно подойти к анализу формируемых экологических особенностей водотоков с учетом состояния всего водосбора территории. В основе выполненного районирования малых и средних притоков р. Вычегды использованы различия в строении геологического фундамента, геоморфологии, современного рельефа, почвообразующих пород и растительного покрова (данные классификации мозаик спутниковых изображений Landsat). Проведенный анализ доминирующих наземных экосистем с использованием ландшафтного подхода позволил обобщить гидробиологическую характеристику трех ландшафтных зон бассейна Вычегды: Лузско-Вычегодской и Вычегодско-Мезенской равнин и Тиманской гряды. Основываясь на предположении о пространственном распределении водных беспозвоночных во взаимодействии с другими ценозами и факторами среды,

зависящими от особенностей ландшафтов, на примере 59 рек бассейна р. Вычегды отмечены статистически значимые отличия в показателях количественного развития беспозвоночных, составе доминирующих групп в водотоках разных ландшафтов. При этом более четкая зависимость отмечается для бентосных сообществ, в то время как для

планктонных достоверных отличий выявить не удалось.

Полученная информация может стать базовой при дальнейшей оценке роли ландшафтов и позволит вовремя определить снижение ландшафтного разнообразия, способного привести к ослаблению стабильности речных экосистем.

Библиография

- Батурина М. А., Кононова О. Н., Фефилова Е. Б., Хохлова Л. Г., Зиновьева А. Н. Изученность водных беспозвоночных крупных рек Республики Коми (Печора и Вычегда) // Известия Коми научного центра УрО РАН. 2016. № 3 (27). С. 42–53.
- Батурина М. А., Лоскутова О. А., Роговцова Е. К., Рафикова Ю. С. Использование структурных характеристик зообентоса для оценки экологического состояния малых рек в условиях долговременных рубок (на примере бассейна реки Вычегды) // Вестник Института биологии Коми НЦ УрО РАН. 2017. № 1 (199). С. 17–24.
- Биоиндикация экологического состояния равнинных рек / Под ред. О. В. Бухарина, Г. С. Розенберга. М.: Наука, 2007. 404 с.
- Богатов В. В. О закономерностях функционирования речных экосистем в свете базовых научных концепций // Вестник СВНЦ ДВО РАН. 2013. № 4. С. 90–99.
- Богатов В. В., Федоровский А. С. Основы речной гидрологии и гидробиологии. Владивосток: Дальнаука, 2017. 383 с.
- Власова Т. А. Гидрохимия главных рек Коми АССР. Сыктывкар: Коми НЦ УрО РАН, 1988. 152 с.
- Государственный доклад «О состоянии окружающей природной среды Республики Коми в 2013 г.» / Министерство природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Коми, Государственное учреждение «ТФИ РК». Сыктывкар, 2014. 122 с.
- Елсаков В. В., Щанов В. М. Спутниковые методы в анализе изменений экосистем бассейна р. Вычегда // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2016. Т. 13. № 4. С. 135–145.
- Жигулина Е. В., Михно В. Б. Прогнозирование изменений ландшафтов бассейнов малых рек Воронежской области // Вестник ВГУ. Сер. География. Геоэкология. 2013. № 1. С. 172–178.
- Жигулина Е. В., Михно В. Б. Оптимизация ландшафтов бассейнов малых рек Воронежской области // Вестник ВГУ. Сер. География. Геоэкология. 2015. № 2. С. 38–45.
- Зверева О. С. Гидрографическое описание территории // Производительные силы Коми АССР. Т. II. Ч. II. Водные ресурсы. М.: Изд-во АН СССР, 1955. С. 22–62.
- Зверева О. С. Особенности биологии главных рек Коми АССР. Л.: Наука, 1969. 279 с.
- Зинченко Т. Д., Промахова Е. В., Головатюк Л. В., Абросимова Э. В., Попченко Т. В., Шитиков В. К. Экологическая характеристика лотической системы на примере малых рек Волжского бассейна: методологические подходы исследований // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2018. Т. 20. № 5 (2). С. 167–179.
- Ивичева К. Н., Филоненко И. В. Влияние освоенности водосбора реки Верхней Сухоны (Вологодская область) на зообентос ее притоков // Принципы экологии. 2019. Т. 8. № 1 (31). С. 19–31. DOI: 10.15393/j1.art.2019.8422.
- Ильчуков С. В. Ландшафты Республики Коми. Екатеринбург: УрО РАН, 2010. 199 с.
- Кононова О. Н. Структура и динамика зоопланктона водоемов бассейна реки Вычегда: Автореф. дис. ... канд. биол. наук. Сыктывкар, 2009. 18 с.
- Кононова О. Н., Батурина М. А., Тетерюк Б. Ю. Гидробиология малых рек бассейна средней Вычегды // Разнообразие и пространственно-экологическая организация животного населения европейского Северо-Востока. Сыктывкар, 2008. С. 81–101. (Тр. Коми НЦ УрО РАН. № 184).
- Мартыненко В. А., Груздев Б. И., Канев В. А. Локальные флоры таежной зоны Республики Коми. Сыктывкар: Коми научный центр, 2008. 76 с.
- Методика изучения биогеоценозов внутренних водоемов / Под ред. Ф. Д. Мордухай-Болтовского. М.: Наука, 1975. 240 с.
- Михно В. Б., Горбунов А. С., Быковская О. П., Бевз В. Н. Геосистемный подход к формированию стабилизирующей ландшафтно-экологической сети центрального Черноземья // Вестник Удмуртского университета. 2018. Т. 28. Вып. 1. С. 64–76.
- Москалев А. А., Новаковский А. Б. Статистические методы в экологии с использованием R, Statistica, Excel и SPSS. Сыктывкар: СыктГУ, 2014. 197 с.
- Неустроева М. В., Деева У. В. Ландшафтный подход в геоэкологических исследованиях бассейнов малых рек // Фундаментальные исследования. 2008. № 2. С. 16–18.

- Новаковский А. Б. Взаимодействие Excel и статистического пакета R для обработки данных в экологии // Вестник ИБ Коми УрО РАН. 2016. № 3. С. 26–33.
- Нормативы качества воды водных объектов рыбохозяйственного значения, в том числе нормативы предельно допустимых концентраций вредных веществ в водах водных объектов рыбохозяйственного значения : Приказ Федерального агентства по Рыболовству от 18 января 2010 г. № 20. URL: <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/2070984/>.
- Особенности пресноводных экосистем малых рек Волжского бассейна / Под ред. Г. С. Розенберга, Т. Д. Зинченко. Тольятти: Касандра, 2011. 322 с.
- Полетаев И. К. Карта подземных вод Коми АССР (Объяснительная записка) // Труды Института геологии Коми филиала АН СССР. 1962. Вып. 2. 160 с.
- Савичев О. Г., Базанов В. А., Скугарев А. А. О влиянии заболоченности и лесистости водосборов на водный сток рек таежной зоны Западной Сибири // Вестник Томского государственного университета. 2011. № 311. С. 200–203.
- Сохранение биоразнообразия природных комплексов водосбора Онежского озера на территории Вологодской области / Под ред. Н. Л. Болотовой, Н. К. Максutowой, А. А. Шабuнова. Вологда: Вологодский гос. пед. ун-т, 2008. 266 с.
- Ткачев Б. П., Булатов В. И. Малые реки: современное состояние и экологические проблемы // Экология. Серия аналитических обзоров мировой литературы. 2002. Вып. 64. С. 1–114.
- Трифоновa Т. А., Мищенко Н. В., Селиванова Н. В., Чеснокова С. М., Репкин Р. В. Бассейновый подход в экологических исследованиях . Владимир: ООО «ВладимирПолиграф», 2009. 80 с.
- Факторный, дискриминантный и кластерный анализ / Под ред. И. С. Енюкова. М.: Финансы и статистика, 1989. 216 с.
- Шитиков В. К., Зинченко Т. Д., Розенберг Г. С. Макроэкология речных сообществ: концепции, методы, модели . Тольятти: Касандра, 2012. 257 с.
- Шубина В. Н. Гидробиология лососевой реки Северного Урала . Л.: Наука, 1986. 157 с.
- Шубина В. Н. Водные беспозвоночные // Состояние изученности природных ресурсов Республики Коми. Сыктывкар: Коми НЦ УрО РАН, 1997. С. 78–92.
- Шубина В. Н. Бентос лососевых рек Урала и Тимана . СПб.: Наука, 2006. 401 с.
- Шубина В. Н. Зообентос водотоков бассейна р. Вымь в зоне влияния разработок бокситовых месторождений (Тиманский кряж) // Вестник Института биологии Коми научного центра Уральского отделения РАН. 2010. № 5 (151). С. 27–30.
- Шушпанникова Г. С., Ямалов С. М. Флористическое разнообразие пойменных лугов бассейнов рек Вычегды и Печоры (Республика Коми) // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2012. Т. 14. № 1 (4). С. 1161–1164.
- Baturina M. Distribution and diversity of aquatic Oligochaeta in small streams of the middle taiga // Turkish Journal of Zoology. 2012. Vol. 36. P. 75–84.
- Gartzia de Bikuña B., López1 E., Leonardo J. M., Arratel J., Martínez1 A., Manzanos A. Development of a multimetric benthic macroinvertebrate index for assessing the ecological condition of Basque streams (north of Spain) // Fundamental and Applied Limnology. 2015. Vol. 187 (1). P. 21–32.
- Drewnik A., Marcin Węstawski J., Włodarska-Kowalczyk M. Benthic Crustacea and Mollusca distribution in Arctic fjord - case study of patterns in Hornsund, Svalbard // Oceanologia. 2017. Vol. 59. P. 565–575.
- 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. N. 4. P. 292–302. DOI: 10.15421/011844.
- Koronkevich N. I., Eliseev D. A., Yasinskii S. V. Conservation of water resources problems of small rivers in Russia // Hydrotechnical Construction. 1994. Vol. 28 (8). P. 411–415.
- Landscape ecology and geographic information systems / Ed. Roy Haines-Young David R. Green Steven Cousins. London; New York; Philadelphia: Taylor & Francis, 1993. 329 p.
- Lee Saro, Park Inhye, Koo Bon Joo, Ryu Joo-Hyung, Woo Han Jun. Macrobenthos habitat potential mapping using GIS-based artificial neural network models // Marine Pollution Bulletin. 2013. Vol. 67 (1–2). P. 177–186. DOI: 10.1016/j.marpolbul.2012.10/023.
- River ecosystem ecology / Ed. Gene E. Likens. Academic Press, 2010. 424 p.
- Wang Shi-yan, Cheng Dong-sheng, Mao Zhan-po, Liu Chang, Du Yan-liang An aquatic ecoregion delineation approach based on GIS and spatial environmental data in Heihe River Basin, Northwestern China // Quaternary International. 2015. Vol. 380–381. P. 272–281.
- Sandin L., Johnson R. K. Local, landscape and regional factors structuring benthic macroinvertebrate assemblages in Swedish streams // Landscape Ecology. 2004. Vol. 19. P. 501–515. DOI:10.1023/b:land.0000036116.44231.
- Townsend, C. R., Doleddec, S., Norris, R., Peacock, K., Arbuckle, C. The influence of scale and geography on relationships between stream community composition and landscape variables: Description and prediction // Freshwater Biology. 2003. Vol. 48. P. 768–785.

Благодарности

Авторы выражают благодарности сотрудникам Института биологии Коми НЦ УрО РАН Б. Ю. Тетерюку, Р. Р. Рафикову, А. Б. Захарову за содействие в отборе гидробиологических проб, Л. Г. Хохловой за научные консультации при интерпретации результатов гидрохимических исследований, А. Б. Новаковскому за консультации в области статистической обработки данных.

Работа выполнена в рамках госзадания отдела экологии животных Института биологии Коми НЦ УрО РАН (№ АААА-А17-117112850235-2).

HYDROBIOLOGICAL PARAMETERS OF TRIBUTARIES OF THE VYCHEGDA RIVER BASIN IN DIFFERENT UNITS OF LANDSCAPE DIVISION

BATURINA *PhD, Institute of Biology of Komi Scientific Centre of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, baturina@ib.komisc.ru*
Maria Aleksandrovna

KONONOVA *PhD, Institute of Biology of Komi Scientific Centre of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, kon@ib.komisc.ru*
Olga Nikolaevna

ELSAKOV *PhD, Institute of Biology of Komi Scientific Centre of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, elsakov@ib.komisc.ru*
Vladimir Valerevich

Keywords:

Vychegda River basin
small rivers
medium rivers
zooplankton
zoobenthos
landscape approach

Summary: The diversity of natural conditions of landscape complexes, differences in the geological structure and relief of the catchment areas of the Vychegda river basin are the basis for the formation of the main hydrobiological characteristics of its tributaries. To differentiate small and medium-sized tributaries of the Vychegda River, it was proposed to use zoning based on differences in the structure of the geological foundation, geomorphology, modern relief, soil-forming rocks and vegetation cover. The results of segmentation of Landsat image mosaic were used to analyze the distribution features of dominant terrestrial ecosystems within the basin. The results of hydrobiological and hydrochemical observations on 59 small and medium-sized rivers within the selected landscape complexes of the Luzhsko-Vychegodsky and Vychegodsko-Mezensky plains and the Timansky ridge were presented. A review of the results of long-term hydrobiological observations on watercourses of the Vychegda River basin with hydrochemical and biological characteristics of plankton and bottom communities was given. It was stated that the landscape confinement of small and medium-sized tributaries of the Vychegda River determined the characteristics of water communities. Ordination of the results of measurements of the number and mass of benthos by the method of multidimensional non-metric scaling (NMDS) showed the presence and formation of polar cores in terms of total population and biomass for the Vychegodsko-Mezensky and Timansky landscape areas. An intermediate position is occupied by the group of the Luzsko-Vychegodsky plain. The variety of environmental conditions of small and medium-sized watercourses caused mutual «penetrations» and the blurred nature of the selected groups. There was no pronounced differentiation found for the zooplankton characteristics.

Reviewer: S. V. Bakanev

Received on: 29 November 2019

Published on: 20 March 2020

References

- Baturina M. A. Kononova O. N. Fefilova E. B. Hohlova L. G. Zinov'eva A. N. The study of aquatic invertebrates of large rivers of the Komi Republic (Pechora and Vychegda), *Izvestiya Komi nauchnogo centra UrO RAN*. 2016. No. 3 (27). P. 42–53.
- Baturina M. A. Loskutova O. A. Rogovcova E. K. Rafikova Yu. S. The use of structural characteristics of zoobenthos to assess the ecological status of small rivers in the conditions of long-term logging (on the example of the Vychegda river basin), *Vestnik Instituta biologii Komi NC UrO RAN*. 2017. No. 1 (199). P. 17–24.
- Baturina M. Distribution and diversity of aquatic Oligochaeta in small streams of the middle taiga, *Turkish Journal of Zoology*. 2012. Vol. 36. P. 75–84.
- Bioindication of the ecological state of lowland rivers, Pod red. O. V. Buharina, G. P. Rozenberga. M.: Nauka, 2007. 404 p.

- Bogatov V. V. Fedorovskiy A. S. Basics of river hydrology and hydrobiology. Vladivostok: Dal'nauka, 2017. 383 p.
- Bogatov V. V. On the patterns of functioning of river ecosystems in the light of basic scientific concepts, *Vestnik SVNC DVO RAN*. 2013. No. 4. C. 90–99.
- Conservation of the biodiversity of natural complexes of Lake Onega drainage area on the territory of the Vologda region, Pod red. N. L. Bolotovoy, N. K. Maksutovoy, A. A. Shabunova. Vologda: Vologodskiy gos. ped. un-t, 2008. 266 p.
- Drewnik A., Marcin Węstawski J., Włodarska-Kowalczyk M. Benthic Crustacea and Mollusca distribution in Arctic fjord - case study of patterns in Hornsund, Svalbard, *Oceanologia*. 2017. Vol. 59. P. 565–575.
- Elsakov V. V. Schanov V. M. Satellite data in analysis of changes in ecosystems of the Vichegda river basin, *Sovremennyye problemy distancionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*. 2016. T. 13. No. 4. P. 135–145.
- Factor, discriminant and cluster analysis, Pod red. I. P. Enyukova. M.: Finansy i statistika, 1989. 216 c.
- Features of small rivers in the Volga basin freshwater ecosystems, Pod red. G. P. Rozenberga, T. D. Zinchenko. Tol'yatti: Kasandra, 2011. 322 p.
- Gartzia de Bikuña B., López1 E., Leonardo J. M., Arratel J., Martínezl A., Manzanos A. Development of a multimetric benthic macroinvertebrate index for assessing the ecological condition of Basque streams (north of Spain), *Fundamental and Applied Limnology*. 2015. Vol. 187 (1). R. 21–32.
- Il'chukov S. V. Landscapes of the Komi Republic. Ekaterinburg: UrO RAN, 2010. 199 p.
- Ivicheva K. N. Filonenko I. V. The influence of the drainage development of the Verkhnyaya Sukhona River (Vologdskaya region) on the zoobenthos of its tributaries, *Principy ekologii*. 2019. T. 8. No. 1 (31). P. 19–31. DOI: 10.15393/j1.art.2019.8422.
- 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. N. 4. P. 292–302. DOI: 10.15421/011844.
- Kononova O. N. Baturina M. A. Teteryuk B. Yu. Hydrobiology of small rivers of the middle Vychegda basin, Raznoobrazie i prostranstvenno-ekologicheskaya organizatsiya zhivotnogo naseleniya evropeyskogo Severo-Vostoka. *Syktyvkar*, 2008. P. 81–101. (Tr. Komi NC UrO RAN. No. 184).
- Kononova O. N. Structure and dynamics of zooplankton in the Vychegda river basin: Avtoref. dip. ... kand. biol. nauk. *Syktyvkar*, 2009. 18 p.
- Koronkevich N. I., Eliseev D. A., Yasinskii S. V. Conservation of water resources problems of small rivers in Russia, *Hydrotechnical Construction*. 1994. Vol. 28 (8). R. 411–415.
- Landscape ecology and geographic information systems, Ed. Roy Haines-Young David R. Green Steven Cousins. London; New York; Philadelphia: Taylor & Francis, 1993. 329 r.
- Lee Saro, Park Inhye, Koo Bon Joo, Ryu Joo-Hyung, Woo Han Jun. Macroenthos habitat potential mapping using GIS-based artificial neural network models, *Marine Pollution Bulletin*. 2013. Vol. 67 (1–2). P. 177–186. DOI: 10.1016/j.marpolbul.2012.10/023.
- Martynenko V. A. Gruzdev B. I. Kanev V. A. Local flora of the taiga zone of the Komi Republic. *Syktyvkar: Komi nauchnyy centr*, 2008. 76 p.
- Methodology for the study of biogeocenoses of inland waters, Pod red. F. D. Morduhay-Boltovskogo. M.: Nauka, 1975. 240 p.
- Mihno V. B. Gorbunov A. S. Bykovskaya O. P. Bevz V. N. Geosystem approach to the formation of a stabilizing landscape-ecological network of the Central Chernozem region, *Vestnik Udmurtskogo universiteta*. 2018. T. 28. Vyp. 1. P. 64–76.
- Moskalev A. A. Novakovskiy A. B. Statistical methods in ecology using R, Statistica, Excel and SPSS. *Syktyvkar: SyktGU*, 2014. 197 p.
- Neustroeva M. V. Deeva U. V. Landscape approach in geocological studies of small river basins, *Fundamental'nye issledovaniya*. 2008. No. 2. P. 16–18.
- Novakovskiy A. B. The interaction of Excel and statistical package R for data processing in ecology, *Vestnik IB Komi UrO RAN*. 2016. No. 3. P. 26–33.
- Poletaev I. K. The map of groundwaters of the Komi ASSR, *Trudy Instituta geologii Komi filiala AN SSSR*. 1962. Vyp. 2. 160 c.
- River ecosystem ecology, Ed. Gene E. Likens. Academic Press, 2010. 424 p.
- Sandin L., Johnson R. K. Local, landscape and regional factors structuring benthic macroinvertebrate assemblages in Swedish streams, *Landscape Ecology*. 2004. Vol. 19. P. 501–515. DOI:10.1023/b:land.0000036116.44231.
- Savichev O. G. Bazanov V. A. Skugarev A. A. On the influence of bogging and forest cover of watersheds on the river runoff in the taiga zone of Western Siberia, *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo universiteta*. 2011. No. 311. P. 200–203.
- Shitikov V. K. Zinchenko T. D. Rozenberg G. S. Macroecology of river communities: concepts, methods, models. Tol'yatti: Kasandra, 2012. 257 p.
- Shubina V. N. Aquatic invertebrates, Sostoyanie izuchennosti prirodnyh resursov Respubliki Komi.

- Syktyvkar: Komi NC UrO RAN, 1997. P. 78–92.
- Shubina V. N. Benthos of salmon rivers of the Urals and Timan. SPb.: Nauka, 2006. 401 p.
- Shubina V. N. Hydrobiology of the salmon river of the Northern Urals. L.: Nauka, 1986. 157 p.
- Shubina V. N. Zoobenthos of watercourses of the Vym river basin in the zone of influence of the development of bauxite deposits (Timan Ridge), *Vestnik Instituta biologii Komi nauchnogo centra Ural'skogo otdeleniya RAN*. 2010. No. 5 (151). P. 27–30.
- Shushpannikova G. S. Yamalov S. M. Floristic diversity of floodplain meadows in the Vychegda and Pechora river basins (Komi Republik), *Izvestiya Samarskogo nauchnogo centra Rossiyskoy akademii nauk*. 2012. T. 14. No. 1 (4). P. 1161–1164.
- State report «On the state of the environment of the Komi Republic in 2013 year», Ministerstvo prirodnyh resursov i ohrany okruzhayushey sredy Respubliki Komi, *Gosudarstvennoe uchrezhdenie «TFI RK»*. Syktyvkar, 2014. 122 p.
- Tkachev B. P. Bulatov V. I. Small rivers: current status and environmental issues, *Ekologiya. Seriya analiticheskikh obzorov mirovoy literatury*. 2002. Vyp. 64. P. 1–114.
- Townsend, C. R., Doledec, S., Norris, R., Peacock, K., Arbuckle, C. The influence of scale and geography on relationships between stream community composition and landscape variables: Description and prediction, *Freshwater Biology*. 2003. Vol. 48. P. 768–785.
- Trifonova T. A. Mischenko N. V. Selivanova N. V. Chesnokova S. M. Repkin R. V. Basin approach in environmental studies. Vladimir: OOO «VladimirPoligraf», 2009. 80 p.
- Vlasova T. A. Hydrochemistry of the main rivers of the Komi ASSR. Syktyvkar: Komi NC UrO RAN, 1988. 152 p.
- Wang Shi-yan, Cheng Dong-sheng, Mao Zhan-po, Liu Chang, Du Yan-liang An aquatic ecoregion delineation approach based on GIS and spatial environmental data in Heihe River Basin, Northwestern China, *Quaternary International*. 2015. Vol. 380–381. P. 272–281.
- Water quality standards for water bodies of fishery importance, including the standards of maximum permissible concentrations of harmful substances in the waters of water bodies of fishery value: Prikaz Federal'nogo agentstva po Rybolovstvu ot 18 yanvarya 2010 g. No. 20. URL: <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/2070984/>.
- Zhigulina E. V. Mihno V. B. Optimization of landscapes of small river basins of the Voronezh region, *Vestnik VGU. Ser. Geografiya. Geoekologiya*. 2015. No. 2. P. 38–45.
- Zhigulina E. V. Mihno V. B. Prediction of landscape changes in small river basins of the Voronezh region, *Vestnik VGU. Ser. Geografiya. Geoekologiya*. 2013. No. 1. C. 172–178.
- Zinchenko T. D. Promahova E. V. Golovatyuk L. V. Abrosimova E. V. Popchenko T. V. Shitikov V. K. Environmental characteristics of the lothic system on the example of small rivers of the Volga river basin: methodological approaches, *Izvestiya Samarskogo nauchnogo centra Rossiyskoy akademii nauk*. 2018. T. 20. No. 5 (2). P. 167–179.
- Zvereva O. S. Biology features of the main rivers of the Komi ASSR. L.: Nauka, 1969. 279 p.
- Zvereva O. S. Hydrographic description of the territory, *Proizvoditel'nye sily Komi ASSR*. T. II. Ch. II. Vodnye resursy. M.: Izd-vo AN SSSR, 1955. C. 22–62.