

УДК 574.633

ОСОБЕННОСТИ ДОННЫХ БИОЦЕНОЗОВ РЕК В РАЗНОТИПНЫХ ЛАНДШАФТАХ ВЕРХНЕЙ ВОЛГИ

© 2025 г. А. В. Гончаров^{а, *}, Д. М. Палатов^б, А. Г. Георгиади^с

^аМосковский государственный университет им. М.В. Ломоносова, Москва, Россия

^бИнститут проблем экологии и эволюции им А.Н. Северцова Российской академии наук, Москва, Россия

^сИнститут географии Российской академии наук, Москва, Россия

*e-mail: tama15333@mail.ru

Поступила в редакцию 27.03.2024 г.

После доработки 24.06.2024 г.

Принята к публикации 25.06.2024 г.

Исследование зообентоса проведено в июле 2021 г. на малых и средних реках Верхней Волги от пос. Селижарово до Ивановского водохранилища на участках, слабо затронутых хозяйственной деятельностью. Изучены особенности речных биоценозов в ландшафтах разного типа. Западная часть рассматриваемой территории возвышенная (Валдайская возвышенность), восточная — низменная (Верхневолжская низина); водотоки из этих районов различаются по скорости течения и типу донных отложений. Эти два фактора приводят к различиям в составе донных биоценозов: в реках возвышенностей значительно большее видовое разнообразие поденок, ручейников, веснянок, чем в водотоках низменных территорий. Прослеживается связь в ряду: ландшафт — гидрологические характеристики рек — донные биоценозы. Показатели качества воды (индексы Вудивисса и *BMWP*) свидетельствуют о незагрязненности водотоков, однако сами показатели закономерно изменяются под влиянием ландшафтных (и гидрологических) параметров. Соответственно, при проведении биологической индикации водотоков Верхней Волги рекомендуется учитывать ландшафтные особенности формирования донных биоценозов.

Ключевые слова: Валдайская возвышенность, биоиндикация, индекс Шеннона, индекс Вудивисса, индекс *BMWP*, лимнофилы, веснянки, хирономиды

DOI: 10.31857/S0320965225010132, **EDN:** CEMPAY

ВВЕДЕНИЕ

Водные обитатели принимают активное участие в трансформации вещества и энергии в экосистемах (Одум, 1986; Wetzel, 2001). С другой стороны, сами водные биоценозы изменяются под влиянием условий окружающей среды. На реках этот вопрос изучали многие авторы (Жадин, Герд, 1961; Illies, Botosaneanu, 1963; Vannote et al.; 1980; Богатов, 1994; Чертопруд, 2011). Показана тесная связь состава донных биоценозов со скоростью течения и характером донных отложений водотоков, сформированы представления о лито-, псаммо-, пелореофильных биоценозах и их разновидностях (Константинов, 1986; Чертопруд, 2021).

Водные организмы могут использоваться в качестве индикаторов состояния (загрязнения) водных объектов. Для этого нужно иметь представление не только об их отклике на антропогенные воздействия, но и о природной изменчивости речных биоценозов. Для водотоков Верхней Волги этот вопрос до настоящего времени изучен слабо.

Цель работы — выявить особенности донных биоценозов, формирующихся в ландшафтах

разного типа и различающихся по своим гидрологическим характеристикам, в малых и средних реках Верхней Волги, незатронутых активной хозяйственной деятельностью. Такое исследование может быть полезно для дальнейшего сопоставления с загрязняемыми водотоками.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Исследование проводили 19–23 июля 2021 г. на 12 участках малых и средних рек — притоках р. Волги от пос. Селижарово до Ивановского водохранилища (табл. 1, рис. 1). Западная часть территории относится к Валдайской возвышенности, южная — к Смоленско-Московской; восточная часть занята Верхневолжской и Вышневолоцкой низинами, а также отдельными грядами (Лихославльская, Тверская).

Период исследования пришелся на летнюю межень с водностью ниже средней многолетней (по данным АИС ГМВО),¹ поэтому скорость те-

¹ <https://gmvo.skniivh.ru> (дата обращения 25.03.2024).

Таблица 1. Характеристика мест отбора проб в исследованных реках Верхней Волги, июль 2021 г.

Ст.	Река	Местонахождение	<i>b</i>	<i>h</i>	<i>V</i>	Дно	Вода	Заросли	Тип реки
1	Осеченка	Пос. Осеченка	10–15	0.2–0.5	~0	Ил, торф, остатки растений, песок	—	80–90	4
2	Медведица	Пос. Стешково	10–15	0.1–0.3	~0, местами до 0.1	Камни, покрытые тиной, галька	Прозрачная	20–70	2
3	Логовежь	Пос. Большое Петрово	15–20	—	~0	Песок, камни	Мутноватая	70	3
4	Страчка	Пос. Станки	3–5	0.2–0.3	~0, местами до 0.1	Камни, песок, наилот	Прозрачная	15–30	2
5	Созь	Пос. Быково	5–15	до 1–2	0.2–0.5	Бетон, корни растений, песок, ил, остатки растений	Высокой цветности	5–10	—
6	Орша	Пос. Настасьино	7–15	—*	~0	Ил, торф	Бурая	30–40	4
7	Тьмака	Пос. Суховерково	10–20	0.5	~0	Крупный песок, камни	Коричневатая (возможно, от глины)	70–80	3
8	Осуга	Пос. Озерцкое	10–15	0.3	0.2	Камни, песок, растения	Прозрачная	80–90	1
9	Селижаровка	Пос. Шихино	40	до 1–2	до 0.4	Галечное, кувшинки	Прозрачная	40–70	1
10	Большая Коша	Мост у пос. Пьянково	30	0.3–0.5	0.1	Песчано-каменистое, валуны	Прозрачная, желтоватая	70–100	1
11	Итомля	Пос. Итомля	5–10	0.2–0.5	0.01–0.3	Камни, покрытые тиной и мхом, песок, остатки растений	Умеренная прозрачность	5	1
12	Держа	Пос. Селяево	10–15	0.6	~0, местами до 0.2	Камни с наилотом, у берегов много ила	Умеренная прозрачность	70	2

Примечание. *b* — ширина реки, м; *h* — Глубина реки, м; *V* — скорость течения, м/с; заросли — проективное покрытие растительности, %; “—” — данные отсутствуют, ст. 5 не использовали в определении типа реки, поскольку здесь присутствовал искусственный грунт — бетон.

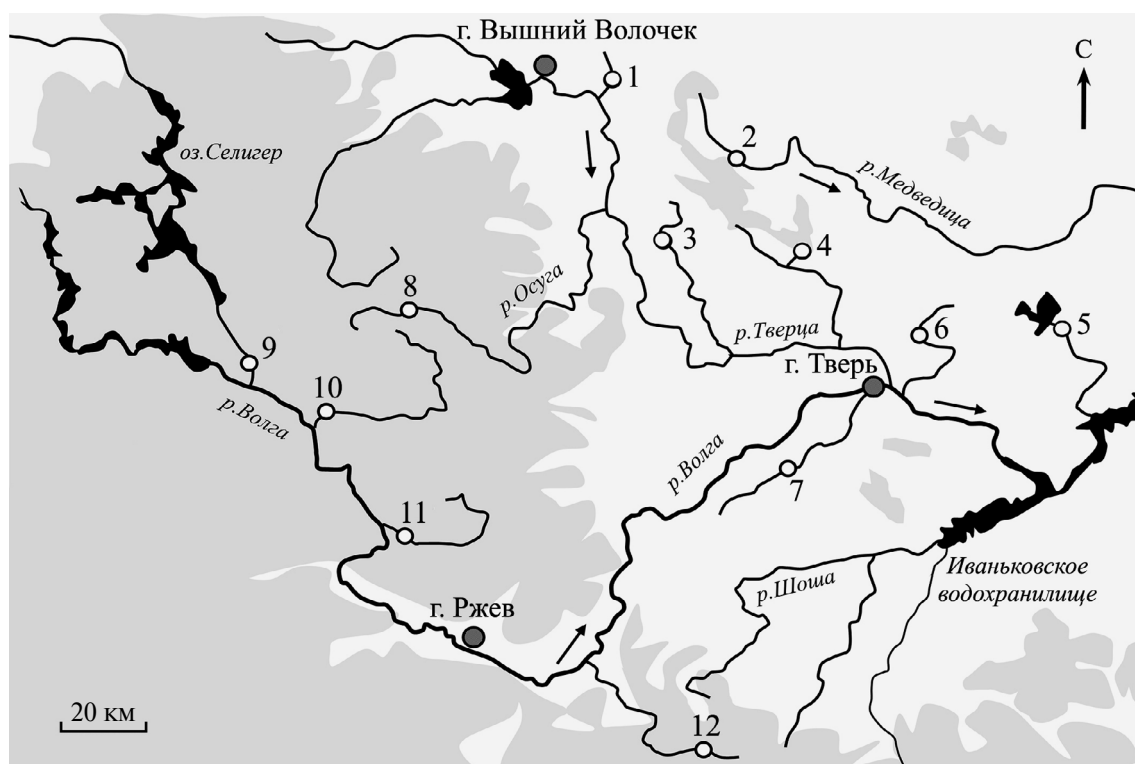


Рис. 1. Места проведения исследования, 2021 г. Для составления карты использовали (Атлас..., 1986). 1–12 — станции; серой заливкой обозначены возвышенности; стрелками — направление течения.

чения в реках была невысокой, на многих участках она приближалась к нулю (табл. 1). Сток рек в этот период формировался преимущественно за счет питания подземными водами зоны активного водообмена. Ширина рек изменялась от нескольких метров (реки Страчка, Созь) до 30–40 м (реки Большая Коша, Селижаровка). На дне наиболее часто встречали песчано-каменистые, в разной степени заиленные, отложения. На отдельных участках отмечали ил, торф, растительные остатки (реки Осеченка, Орша). По скорости течения и виду грунта выделено 4 различных типа рек (табл. 1).

По зарастаемости реки также сильно различались (табл. 1); чаще всего присутствовали кубышка (*Nuphar lutea* (L.) Sibth. et Sm.) и разные виды рдестов (*Potamogeton* spp.).

Высоту над уровнем моря определяли для каждой точки обследования реки с помощью программы Google Earth; приуроченность к ландшафтам — по: (Атлас..., 1964). Выбор этой работы связан с сопоставимостью по размеру представленных в нем ландшафтов с водосборами изучаемых водотоков.

Пробы зообентоса отбирали в соответствии с работой (Руководство..., 1983). На каждом участке реки облавливали основные биотопы. На грунте с преобладанием песка (песчаном, песчано-галечном, песчано-илистом) сачок с ободом прямоугольной формы и основанием 20 см, устанавливали против течения, заглубляя в грунт на 2–3 см.

Двигаясь спиной против течения, интенсивно взмучивали грунт, из которого организмы сносились в сачок. Площадь облова определяли умножением длины пройденного сачком пути на его ширину. Таким образом, на каждой станции облавливали ~1.0 м² дна. Если встречали крупный камень, сачок подводили к нему под водой, переносили камень в сачок и обмывали; отдельные организмы снимали пинцетом. Определяли размеры камня для вычисления площади, которую он занимает на дне. Пробы фиксировали 90%-ным этиловым спиртом.

Первичный разбор проб проводили с помощью стереоскопического бинокулярного микроскопа Carton TRIO 0750. Все обнаруживаемые при просмотре организмы пинцетом извлекали из скопления грунта и складывали в отдельные пробирки. Для идентификации большинства олигохет и членистоногих изготавливали временные глицериновые препараты; их изучали с помощью светового микроскопа Olympus CX21. Число особей подсчитывали для каждого таксона в пробе, суммарную биомассу всех представителей данного вида определяли на электронных лабораторных весах Ohaus Scout SPX123 (Руководство..., 1983; Определитель..., 1994, 1995, 1997, 1999, 2001, 2004).

При анализе результатов использовали следующие параметры: видовой состав, численность,

биомасса макрозообентоса и определяемые на их основе индексы Вудивисса, *BMWP* и *EPT*. Последний индекс представляет собой суммарное число видов реофильных беспозвоночных: Ephemeroptera, Plecoptera, Trichoptera (сокращенно *EPT*); многие из входящих в эти отряды виды приспособлены к жизни на каменистом грунте в условиях значительной скорости течения, обеспечивающей перемешиваемость воды и насыщение ее кислородом (Семенченко, 2004).

Индекс Вудивисса — широко известный показатель, учитывающий присутствие индикаторных (с точки зрения загрязнения) таксонов и одновременно — видовое богатство (Вудивисс, 1977). В нашей работе использован расширенный вариант индекса Вудивисса (Алексеевнина, Поздеев, 2016; Woodiwiss, 1978). В качестве дополнительного показателя рассматривали индекс *BMWP* (Biological monitoring working party), оценка которого представляет собой сумму баллов индикаторной значимости семейств беспозвоночных, присутствующих в пробе (Hawkes, 1997; Головатюк, Зинченко, 2020). Также измеряли основные гидрологические и некоторые гидрохимические параметры водотоков.

Для классификации водотоков по составу донных обитателей использовали кластерный анализ — метод Брея–Кертиса (Песенко, 1982; Bray, Curtis, 1957; Everitt et al., 2011), расчеты проводили с помощью программы PAST 4.² При характеристике биоценозов подсчитывали частоту встречаемости видов — отношение числа станций, на которых встречен данный вид, к общему числу всех станций, выраженное в %.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Состав и количественные характеристики зообентоса

Получены данные о распределении числа видов зообентоса по основным группам организмов (табл. 2). Наибольшим числом видов характеризуются двукрылые — в среднем 9 видов на пробу. Богаты видами также брюхоногие моллюски и ручейники (по 5–6 видов на пробу); меньше видов двустворчатых моллюсков (в основном — Sphaeriidae) (4) и поденок (3). Регулярно встречались водные жесткокрылые (личинки и имаго) (3 вида на пробу), личинки стрекоз (2) и пиявки (2). Реже всего отмечали высших ракообразных. Чаще всего встречались двустворчатые и брюхоногие моллюски (в 67–83% всех проб) (табл. 3). Они имеют широкую экологическую валентность, населяют прибрежную зарослевую зону в проточных и стоячих водоемах.

² <https://www.nhm.uio.no/english/research/resources/past/> (дата обращения 25.04.2024).

Таблица 2. Распределение числа видов зообентоса по основным группам организмов в водотоках Верхней Волги, 2021 г.

Группа	Станции												Среднее число видов
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
Crustacea, Malacostraca	—	—	—	—	1	1	1	—	—	—	—	1	~0
Hirudinea	3	3	2	1	1	2	3	—	1	3	2	1	2
Insecta:													
Coleoptera	1	3	3	1	—	1	5	2	4	2	4	4	3
Diptera	6	6	7	11	7	4	4	11	11	8	21	6	9
Ephemeroptera	—	4	2	1	1	—	2	6	6	6	5	4	3
Heteroptera	—	3	1	—	1	1	2	1	1	1	1	2	1
Lepidoptera	—	—	2	—	—	—	2	1	—	1	—	1	1
Megaloptera	—	1	1	1	—	1	1	1	—	1	—	1	1
Odonata	—	3	4	1	—	2	3	1	1	2	1	2	2
Plecoptera	—	1	—	—	—	—	—	1	1	1	3	—	1
Trichoptera	3	3	3	2	8	—	1	9	12	12	8	2	5
Mollusca:													
Bivalvia	6	1	5	5	1	8	1	3	2	6	2	6	4
Gastropoda	9	3	7	—	2	7	4	8	10	10	5	6	6
Oligochaeta	1	—	—	—	1	1	—	1	1	2	—	—	1
Pisces	—	—	—	1	—	—	—	1	1	—	1	1	~0
Всего	29	31	37	24	23	28	29	46	51	55	53	37	

Таблица 3. Виды, наиболее часто встречающиеся в изученных реках

Группа	Виды	P
Mollusca:		
Bivalvia	<i>Sphaerium corneum</i> (L., 1758)	83
Gastropoda	<i>Bithynia tentaculata</i> (L., 1758)	75
Gastropoda	<i>Gyraulus albus</i> (O.F. Müller, 1774)	75
Bivalvia	<i>Euglesa (Cingulipisidium) nitida</i> (Jenyns, 1832)	67
Bivalvia	<i>Euglesa (Henslowiana) henslowana</i> (Leach in Sheppard, 1823)	67
Insecta, Chironomidae	<i>Procladius choreus</i> (Meigen, 1804)	67
Hirudinea	<i>Helobdella stagnalis</i> (L., 1758)	58
Mollusca,	<i>Physa fontinalis</i> (L., 1758)	58
Gastropoda	<i>Lymnaea stagnalis</i> (L., 1758)	50
Hirudinea	<i>Glossiphonia concolor</i> (Apathy, 1888)	50
Insecta:		
Trichoptera	<i>Molanna angustata</i> Curtis, 1834	50
Chironomidae	<i>Ablabesmyia</i> sp.	50
Diptera	<i>Atherix ibis</i> (Fabricius, 1798)	50

Примечание. P — частота встречаемости видов, %.

Биомасса зообентоса была довольно значительна (рис. 2). Наибольшая ее величина отмечена на ст. 5 (р. Созь, в 10 км ниже оз. Святное) — 13 г/м², за счет личинок реофильных ручейников

Brachycentrus subnubilus Curtis, 1834. На ст. 7 биомасса достигала 9.5 г/м², присутствовали в большом количестве пиявки, жуки и личинки стрекоз (табл. 2), отличающиеся высокой индивидуальной биомассой. Вместе с тем общее число видов в этих пробах было сравнительно невелико — 23—29.

Распределение по численности имело несколько иной характер (рис. 3). Наибольшую численность (~1650 экз./м²) также наблюдали на ст. 5, но преобладали личинки хирономид и ручейников. Остальные станции мало различались по показателям численности зообентоса — от 200 до 700 экз./м². Однако на каждой из них доминировали различные группы: на станциях 1, 3 и 6 — пеллофилы, населяющие толщу илистых грунтов на слабом течении (*Chironomus*, *Polypedilum*, *Euglesa*, *Sphaerium*); на станциях 2, 7 и 12 — обитатели слабoproточных зарослей макрофитов (*Ablabesmyia*, *Cricotopus*, *Cloeon*, *Agabus*); на ст. 4 — группы, свойственные заиленным каменистым участкам (*Potamophylax*, *Procladius*, *Stictochironomus*); на станциях 8 и 10 — комплекс, свойственный промываемым зарослям макрофитов (*Ampullaceana*, *Gyraulus*, *Leuctra*); на станциях 9 и 11 — отчетливый литореофильный комплекс, состоящий из оксифильных групп (*Aphelocheirus*, *Elmis*, *Rhyacophila*).

В табл. 4 представлены основные параметры зообентоса, рассчитанные на основе данных о составе донных биоценозов. Видно, что значения биотических параметров сильно варьируют:

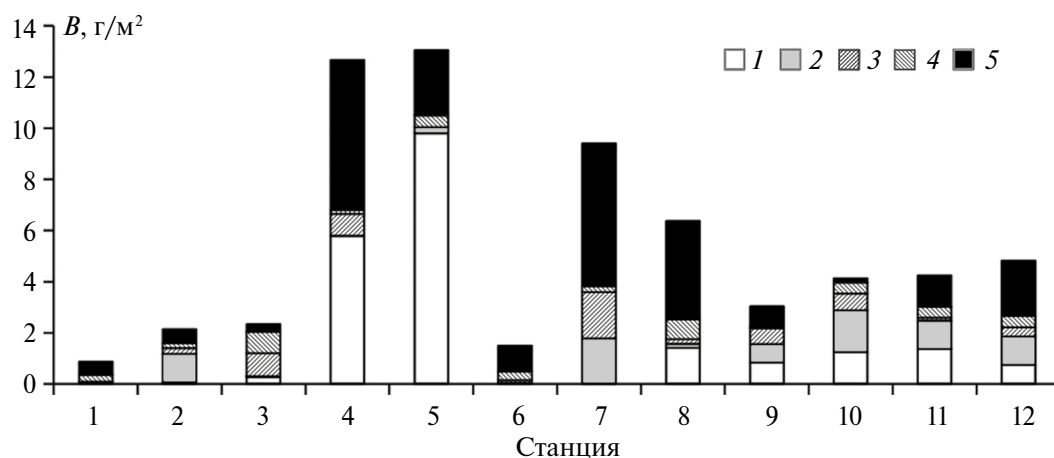


Рис. 2. Распределение биомассы зообентоса по основным систематическим группам. 1 – Trichoptera, 2 – Heteroptera, 3 – Odonta, 4 – Mollusca, 5 – прочие. При построении графиков не учитывали придонных рыб и моллюсков массой >0.5 г/экз.

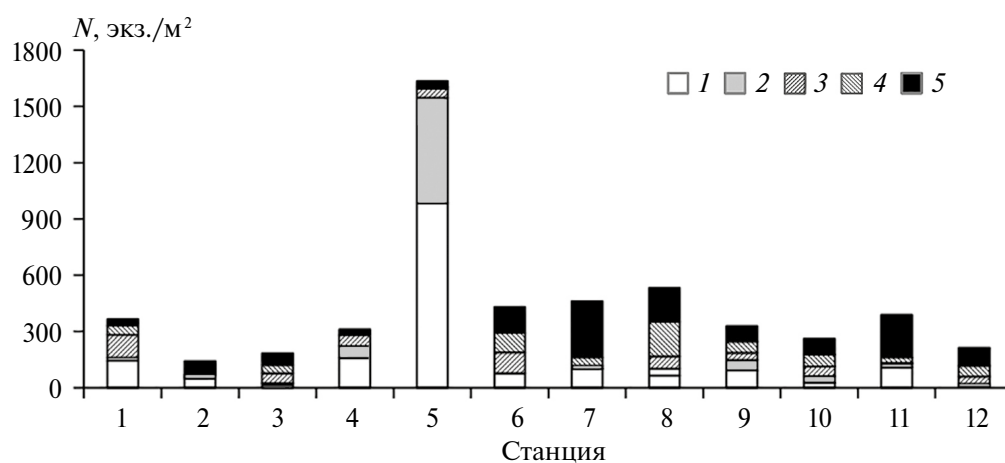


Рис. 3. Распределение численности зообентоса по основным систематическим группам. 1 – Diptera, 2 – Trichoptera, 3 – Bivalvia, 4 – Gastropoda, 5 – прочие.

Таблица 4. Количественные показатели зообентоса

Станция	Река	Тип	<i>n</i>	Индекс Вудивисса	<i>EPT</i>	<i>BMWP</i>
1	Осеченка	4	29	10	3	62
2	Медведица	2	31	12	8	106
3	Логовежь	3	37	13	5	99
4	Строчка	2	24	9	3	42
5	Созь	нет	23	9	9	77
6	Орша	4	28	8	0	61
7	Тьмака	3	29	11	3	82
8	Осуга	1	46	14	16	114
9	Селижаровка	1	51	14	19	160
10	Большая Коша	1	55	14	19	168
11	Итомля	1	53	14	16	124
12	Держа	2	38	13	6	88

Примечание. *n* – число видов.

число видов — от 23 до 55, индексы Вудивисса — от 8 до 13, *EPT* — от 0 до 19, *BMWP* — от 42 до 168. Рассмотрим причину этого.

Типы рек и их связь с параметрами донных биоценозов

Состав донных обитателей рек, как отмечали ранее, в значительной степени зависит от скорости течения и характера субстрата (грунта). Из табл. 1 видно, что на ст. 8–11 есть течение и дно каменистое; на ст. 1 и 6 — течение отсутствует, дно илистое. На других участках отмечены промежуточные данные по течению и видам субстратов.

Основываясь на сочетании двух характеристик (течения и вида грунта), проведена классификация обследованных участков водотоков, выделено 4 “типа реки” (*TR*) (табл. 5). Изменение *TR* от 1 до 4 свидетельствует о смене выраженных речных (лотических) условий в водотоках на малопроточные (лимнические). Станцию 5 в расчет не принимали, поскольку здесь присутствовал искусственный грунт — бетон.

На рис. 4 дана связь между типом реки и отдельными показателями зообентоса, представленными в табл. 4. Полученные показатели принимают наибольшее значение в водотоках, где присутствуют течение и каменистый грунт (*TR* 1). Особенно тесная связь *TR* с *EPT*, поскольку большинство видов *Ephemeroptera*, *Plecoptera*, *Trichoptera* приспособлены к жизни на каменистом грунте в условиях значительной скорости течения (обеспечивающей перемешиваемость и насыщение воды кислородом, в котором они нуждаются). Коэффициенты корреляции (рис. 4) достоверны при уровне значимости $p < 0.05$.

Типы донных биоценозов и их соответствие гидрологическим характеристикам водотоков

Рассмотрим, как соответствуют выделенные нами с помощью кластерного анализа типы биоценозов гидрологическим условиям в водотоках.

Таблица 5. Классификация местообитаний зообентоса по проточности и донному грунту водотока

Тип реки	Характеристика	Станция
1	Имеется течение, грунт каменистый	8–11
2	Течение только местами, на дне камни	2, 4, 12
3	Нет течения, на дне песок, камни	3, 7
4	Нет течения, на дне ил	1, 6

Таблица 6. Средние значения рассматриваемых параметров в выделенных кластерах

Кластер	<i>n</i>	Индекс Вудивисса	<i>EPT</i>	<i>BMWP</i>	Тип реки
1	45.8	13.0	14.6	121.6	1
2	30.7	10.9	4.9	82.1	3

При проведении кластерного анализа использовали данные по распределению числа видов в основных группах донных беспозвоночных (табл. 2). На рис. 5 представлена дендрограмма проведенного анализа. Видно, что станции разделились на две части: слева — с малыми значениями *TR* (характерны для реофильных биоценозов), справа — с более высокими (лимнофильные сообщества). Это подтверждают и данные табл. 6, что все биологические показатели в первом кластере больше, чем во втором.

При детальном рассмотрении дендрограммы обращают на себя внимание близкие друг другу ст. 8 и 9 (в кластере 1) и ст. 1 и 6 (в кластере 2). Они относятся к разным (противоположным) типам рек и можно ожидать, что по составу организмов будут сильно различаться. Действительно, из табл. 7 видно, что наиболее существенные различия между ними имеются в группах реофильных представителей — поденок (*Ephemeroptera*),

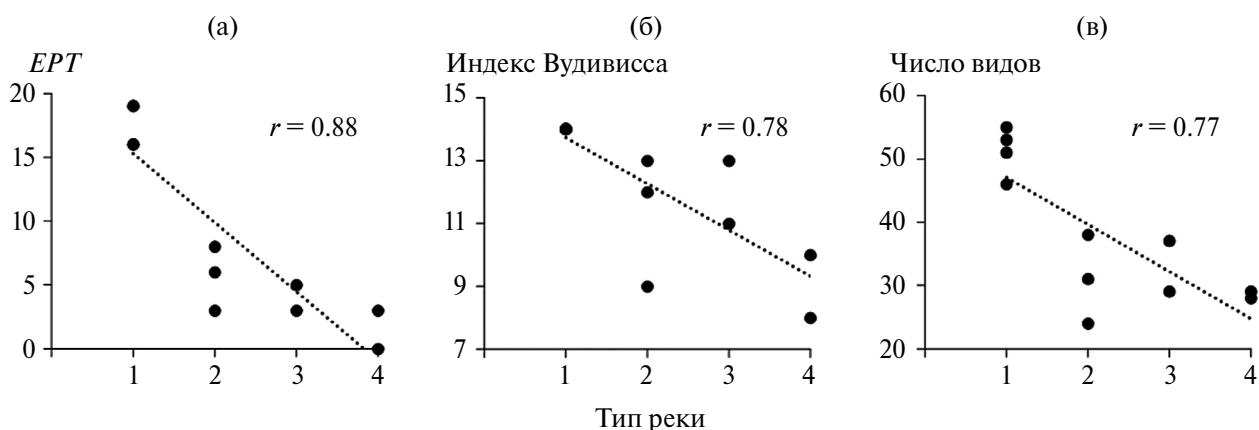


Рис. 4. Связь типов рек с показателями зообентоса: индексами *EPT* (а) и Вудивисса (б), числом видов (в).

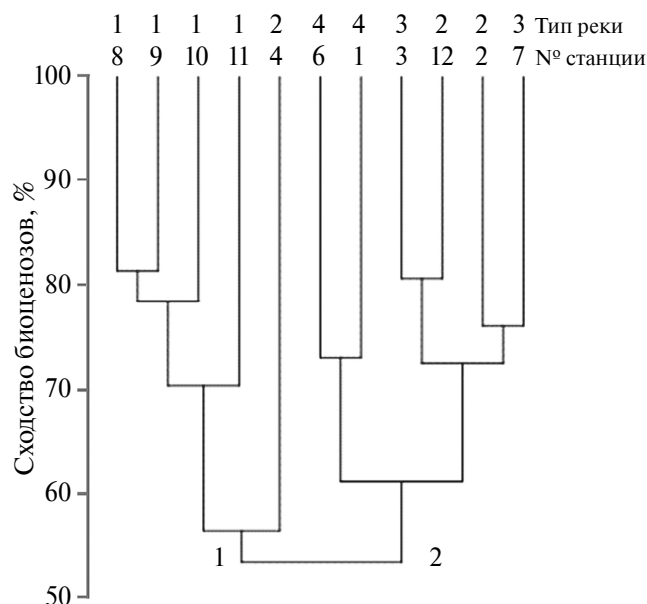


Рис. 5. Дендрограмма кластерного анализа, построенная по данным о числе видов в основных систематических группах донных беспозвоночных. 1, 2 — кластеры 1 и 2.

веснянок (Plecoptera), ручейников (Trichoptera). Их много в биоценозах первого кластера (реофилы) и мало — второго (лимнофилы).

Распределение обследованных участков рек по ландшафтам. Связь зообентоса рек с ландшафтами, в которых они формируются, представлена в табл. 8. Дополнительно ландшафты объединены в группы в соответствии с высотой местности: возвышенные равнины, низменные равнины и промежуточные — холмистые (волнистые) ландшафты.

Видно, что абсолютное соответствие между ландшафтами и донными биотопами, определяемыми по показателю *TR*, отсутствует. Вместе с тем большая часть рек со значениями *TR* = 1 относится к возвышенным ландшафтам, со значениями *TR* ≥ 3 — к низменным, что и следовало ожидать. Такая же закономерность прослеживается и на рис. 6, где представлены средние для каждого типа ландшафта значения рассматриваемых параметров биоценозов и водотоков.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Анализ литературных источников показал, что зообентос рассматриваемых водотоков ранее не изучали. По результатам нашего исследования, зообентос обсуждаемых рек характеризуется высоким видовым богатством: на 12 станциях отмечено 169 видов беспозвоночных животных. Большинство из них широко распространены в пределах равнинных областей Восточной Европы. Наибольшим числом видов представлены

Таблица 7. Состав биоценозов в разных кластерах

Биоценоз	<i>n</i>			
	I (<i>TR</i> 1)		II (<i>TR</i> 4)	
	Ст. 8	Ст. 9	Ст. 1	Ст. 6
Crustacea, Malacostraca	0	0	0	1
Hirudinea	0	1	3	2
Insecta:				
Coleoptera	2	4	1	1
Diptera	11	11	6	4
Ephemeroptera	6	6	0	0
Plecoptera	1	1	0	0
Trichoptera	9	12	3	0
Heteroptera	1	1	0	1
Lepidoptera	1	0	0	0
Megaloptera	1	0	0	1
Odonata	1	1	0	2
Mollusca:				
Bivalvia	3	2	6	8
Gastropoda	8	10	9	7
Oligochaeta	1	1	1	1

Примечание. *TR* — тип реки, I, II — номера кластеров.

двукрылые насекомые, прежде всего, личинки хирономид (выявлено 27 видов). Высокое таксономическое разнообразие этой группы в целом характерно для бентосных сообществ водотоков Палеарктики (Чебанова, 2009; Чертопруд, 2010). Существенная роль принадлежит также лимнофильным группам — гастроподам, жесткокрылым и стрекозам.

Рассматривая наиболее часто встречающиеся в исследованных реках виды (табл. 3), можно отметить следующие: шаровки *Sphaerium corneum*, горошинки *Euglesa nitida* и *E. henslowana* — фильтраторы, роющие скопления мягкого грунта (Bespalaya et al., 2023); гастроподы *Bithynia tentaculata*, *Gyraulus albus*, *Physa fontinalis* и *Lymnaea stagnalis*, живущие в прибрежных зарослях макрофитов почти любых водоемов (Чертопруд, Удалов, 1996); пиявки *Glossiphonia concolor* и *Helobdella stagnalis*, населяющие твердые, часто заиленные субстраты рек и озер (Neubert, Nesemann, 1999); хирономиды *Procladius choreus* — хищники, повсеместно встречающиеся на илах (Макарченко, 2006). Преимущественной лимнофильностью отличаются личинки хирономид рода *Ablabesmyia*, обычные скорее в прибрежных зарослях прудов и мелких озер. Это относится и к ручейникам *Molanna angustata* (Лепнева, 1966).

Напротив, личинки атерицид *Atherix ibis* — выраженные литореофилы, никогда не встречающиеся в стоячих водах, на мягких или подвижных субстратах (Чертопруд, 2011). Сравнение с

Таблица 8. Распределение обследованных участков рек по ландшафтам

Станция	TR	H	Ландшафты
Возвышенные равнины			
8	1	235	Возвышенная, слабо расчлененная равнина с преобладанием еловых и березово-осиновых лесов
10	1	212	Возвышенная, слабо расчлененная равнина с преобладанием еловых и березово-осиновых лесов
11	1	211	Возвышенная равнина с глубоко врезаемыми долинами, с преобладанием мелколиственных лесов и сельскохозяйственных угодий
12	2	213	Возвышенная равнина с глубоко врезаемыми долинами, с преобладанием мелколиственных лесов и сельскохозяйственных угодий
Холмистые (волнистые) равнины			
9	1	205	Озерно-холмистая равнина с сосновыми и еловыми лесами
2	2	174	Слабо волнистая равнина, покрытая вторичными березово-осиновыми лесами и остатками еловых лесов
4	2	166	Ландшафт холмистых гряд
7	3	141	Ландшафт холмистых гряд
Низменные равнины			
3	3	163	Низменная песчаная равнина с древними дюнами, сфагновыми болотами и сосновыми лесами
1	4	154	Низменная песчаная равнина с древними дюнами, сфагновыми болотами и сосновыми лесами
6	4	135	Низменная песчаная равнина с древними дюнами, сфагновыми болотами и сосновыми лесами

Примечание. H – высота над уровнем моря, м.

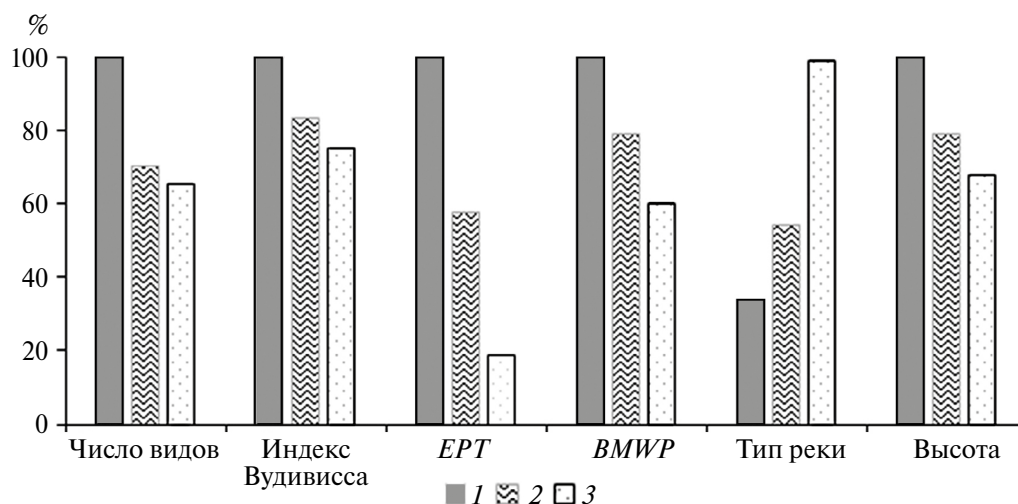


Рис. 6. Средние значения параметров донных биоценозов и рек в выделенных группах ландшафтов (% максимального значения каждого показателя). 1 – возвышенные ландшафты, 2 – холмистые, 3 – низменные.

литературными данными показало, что в целом облик фауны вполне типичен для малых и средних водотоков равнинных территорий Восточной Европы (Чертопруд, 2010, 2011).

Количественные показатели развития донных беспозвоночных довольно высокие (рис. 2, 3). Наибольшую численность наблюдали на ст. 5, где преобладали комары-звонцы *Rheotanytarsus* sp.,

отличающиеся мелкими размерами и способные к образованию массовых скоплений. Кроме того, здесь присутствовало много личинок ручейников *Brachycentrus subnubilus*. Примечательно, что оба вида ведут прикрепленный образ жизни, строя своеобразные домики, направленные против тока воды и высеживая из нее питательные частицы, отмерший фито- и зоопланктон (Лепнева,

1966; Монаков, 1998). Повышенная численность пассивных фильтраторов может свидетельствовать об озерном питании реки (Барышев, 2022). Действительно, ст. 5 расположена на р. Созь в нескольких километрах ниже ее истока из оз. Великое.

Большое число присутствующих видов и высокие значения индексов Вудивисса и *BMWP* (табл. 4) показывают, что рассмотренные водотоки не подвержены сколько-нибудь существенно антропогенному воздействию. Поэтому можно полагать, что изменения зообентоса происходят под влиянием естественных факторов.

Действительно, выделенные нами по гидрологическим параметрам типы рек соответствуют показателям зообентоса (табл. 4, рис. 4). Эти показатели — число видов, индексы Вудивисса, *EPT*, *BMWP* — отражают не просто качество воды, но и влияние гидрологических условий на речные биоценозы: при увеличении проточности увеличивается представленность реофильных видов беспозвоночных и наоборот. Такой же результат получен при изучении малой р. Латка в Ярославской обл.: ослабление течения при зарегулировании ее бобрами приводило к увеличению числа лимнофильных видов зообентоса (Экосистема..., 2007).

При сопоставлении наших результатов с такими же другими исследователями можно привести работу, выполненную в бассейне р. Оби (Яныгина, 2013). В ней для выявления особенностей зообентоса проведена классификация изучаемых участков рек на основе гидрологических параметров — по типу донных отложений, а также по значениям уклона русла (влияющим на скорость течения). Оказалось, что видовая структура донных биоценозов хорошо соответствуют выделенным типам рек в бассейне р. Оби. Этот результат близок к полученному нами (рис. 4).

Одна из основных задач нашего исследования — оценка роли ландшафта в формировании донных биоценозов. Это связано с тем, что, как известно, ландшафты (и их компоненты — рельеф, горные породы, почвы, растительность) могут оказывать существенное влияние на гидрологические и гидрохимические характеристики водных объектов, а через них — и на водных обитателей (Драбкова, Сорокин, 1979; He et al., 2020). Найдя связь между ландшафтом и речными обитателями, можно будет, имея перед собой географическую карту, составить представление и о донных биоценозах.

Результаты нашего исследования, отраженные на рис. 6, показывают, что обсуждаемая связь существует: от возвышенных ландшафтов к низменным, биологические параметры (число видов, индексы Вудивисса, *EPT*, *BMWP*) снижаются, отражая переход от реофильных биоценозов к лимнофильным.

В работах по изучению влияния ландшафта на речные организмы часто рассматривают сильно различающиеся по своим физико-географическим параметрам водотоки и их водосборы. Так, существенные различия донных биоценозов были выявлены при изучении горных областей (Алтай, Хенгдуань, Кордильеры-де-Вильканота) на участках, разница высот которых достигает многие сотни метров (Araña et al., 2021; Ao et al., 2022; Яныгина и др., 2023). В нашей работе различия зообентоса отмечены при значительно менее контрастных условиях, на которые можно было не обратить внимания во время проведения гидробиологического обследования: перепады высот были лишь десятки метров (табл. 7).

По индексу Вудивисса, вода на всех обследованных нами участках (табл. 4) характеризуется как “чистая” и “очень чистая”, по индексу *BMWP* — как “исключительно хорошего” и “хорошего” качества (кроме ст. 4, где отмечено “невысокое качество” воды). Такие оценки в целом соответствуют состоянию водотоков, находящимся вне зоны активного хозяйственного влияния (к каким относятся обследованные нами реки). В то же время в этих незагрязняемых водотоках биотические индексы качества воды принимают различные значения — в зависимости от типа реки и ландшафта (рис. 6). Поэтому при проведении биологической индикации рек Верхней Волги нужно учитывать ландшафтные условия формирования донных биоценозов.

Выявленные особенности рек определены на сравнительно небольшом материале; для получения более четких выводов в дальнейшем понадобятся дополнительные исследования.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Донные сообщества малых водотоков Верхней Волги характеризуются значительным видовым богатством: выявлено 169 видов беспозвоночных животных, большинство из которых широко распространены в равнинных областях Восточной Европы и Западной Палеарктики в целом. Значительная роль в этих сообществах принадлежит лимнофильным группам — гастроподам, жесткокрылым, стрекозам. По видовому разнообразию в обследованных водотоках наиболее представлены двукрылые насекомые (прежде всего, личинки комаров-звонцов), а также различные брюхоногие и двусторчатые моллюски. Выявлена связь состава донных биоценозов с характером окружающего ландшафта и гидрологическими параметрами (скоростью течения и типом донных отложений). При снижении высоты местности в водотоках происходит переход от собственно речных условий (лотических) к малопроточным (лимническим). При этом литореофильные биоценозы

сменяются псаммо- и пелорефильными, уменьшается представленность реофильных видов зообентоса, требовательных к повышенному содержанию кислорода в воде. Показатели качества воды — индексы *ВМВР* и Вудивисса — свидетельствуют, что вода достаточно чистая и рассматриваемые водотоки не подвержены значительному антропогенному воздействию. При проведении биологической индикации рекомендовано учитывать ландшафтные особенности формирования речных биоценозов.

ФИНАНСИРОВАНИЕ

Работа выполнена в рамках государственного задания научно-исследовательских работ кафедры гидрологии суши географического факультета МГУ им. М.В. Ломоносова (№ ЦИТИС: 121051400038-1); государственного задания Института географии РАН FMWS-2024-0007 (1021051703468-8); междисциплинарной научно-образовательной школы МГУ им. М.В. Ломоносова “Будущее планеты и глобальные изменения окружающей среды”.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Алексеевнина М.С., Поздеев И.В.* 2016. Санитарная гидробиология с основами водной токсикологии: учеб. пособие. Пермь: Изд-во ПГНИУ.
- Атлас Калининской области. 1964. М.: ГУГК.
- Атлас СССР. 1986. М.: ГУГК.
- Барышев И.А.* 2022. Особенности состава, обилия и трофической структуры сообществ макрозообентоса в реках сельговых ландшафтов северного побережья Онежского озера // Биология внутр. вод. № 5. С. 533.
<https://doi.org/10.31857/S0320965222050035>
- Богатов В.В.* 1994. Экология речных сообществ российского Дальнего Востока. Владивосток: Изд-во Дальнаука.
- Вудивисс Ф.* 1977. Биотический индекс р. Трент. Макробеспозвоночные и биологическое обследование // Научные основы контроля качества вод по гидробиологическим показателям. Тр. советско-английского семинара. Л.: Гидрометеиздат. С. 132.
- Головатюк Л.В., Зинченко Т.Д.* 2020. Биотические идентификаторы в оценке качества воды эталонной реки: сравнительный анализ биоиндикационных индексов реки Байтуган (Высокое Заволжье) // Учен. зап. Казан. ун-та. Сер. Естеств. науки. Т. 162. № 1. С. 134.
<https://doi.org/10.26907/2542-064X.2020.1.134-150>
- Драбкова В.Г., Сорокин И.Н.* 1979. Озеро и его водосбор — единая природная система. Л.: Наука.
- Жадин В.И., Герд С.В.* 1961. Реки, озера и водохранилища СССР. Их фауна и флора. М.: Учпедгиз.
- Константинов А.С.* 1986. Общая гидробиология. М.: Высш. шк.
- Лепнева С.Г.* 1966. Личинки и куколки Подотряда Цельношупиковых (Integripalpia) // Фауна СССР. Ручейники. Т. 2. Вып. 2. М.: Изд-во АН СССР.
- Макарченко Е.А.* 2006. Сем. Chironomidae — комары-звонцы // Определитель насекомых Дальнего Востока России. Т. VI. Ч. 4. Владивосток: Дальнаука. С. 204.
- Монаков А.В.* 1998. Питание пресноводных беспозвоночных. М.: РАН.
- Одум Ю.* 1986. Экология. М.: Мир.
- Определитель пресноводных беспозвоночных России и сопредельных территорий. 1994. Т. 1.
- Определитель пресноводных беспозвоночных России и сопредельных территорий. 1995. Т. 2. СПб.: Наука.
- Определитель пресноводных беспозвоночных России и сопредельных территорий. 1997. Т. 3. СПб.: Наука.
- Определитель пресноводных беспозвоночных России и сопредельных территорий. 1999. Т. 4. СПб.: Наука.
- Определитель пресноводных беспозвоночных России и сопредельных территорий. 2001. Т. 5. СПб.: Наука.
- Определитель пресноводных беспозвоночных России и сопредельных территорий. 2004. Т. 6. СПб.: Наука.
- Песенко Ю.А.* 1982. Принципы и методы количественного анализа в фаунистических исследованиях. М.: Наука.
- Руководство по методам гидробиологического анализа поверхностных вод и донных отложений. 1983. Л.: Гидрометеиздат.
- Семенченко В.П.* 2004. Принципы и системы биоиндикации текучих вод. Минск: Орех.
- Чебанова В.В.* 2009. Бентос лососевых рек Камчатки. М.: Изд-во ВНИРО.
- Чертопруд М.В.* 2010. Биогеографическое районирование пресных вод Евразии по фауне макробентоса // Журн. общ. биол. Т. 71. № 2. С. 144.
- Чертопруд М.В.* 2021. Основные классы реофильных сообществ макробеспозвоночных и их региональная изменчивость в Евразии // Биология внутр. вод. Т. 14. № 5. С. 481.
<https://doi.org/10.31857/S032096522105003X>
- Чертопруд М.В.* 2011. Разнообразие и классификация реофильных сообществ макробентоса средней полосы Европейской России // Журнал общей биологии. Т. 72. № 1. С. 51.
- Чертопруд М.В., Удалов А.А.* 1996. Экологические группировки пресноводных Gastropoda центра Европейской России: влияние типа водоема и субстрата // Зоол. журн. Т. 75. № 5. С. 664.
- Экосистема малой реки в изменяющихся условиях среды. 2007. М.: Тов-во науч. изданий КМК.
- Яныгина Л.В.* 2013. Аспекты пространственной организации бентосных сообществ рек бассейна Верхней и Средней Оби // Мир науки, культуры, образования. № 3. С. 445.
- Яныгина Л.В., Бурмистрова О.С., Волгина Д.Д. и др.* 2023. Сообщества макробеспозвоночных горных водотоков Алтая: факторы формирования и особенности распределения в градиенте высоты

- над уровнем моря // Тр. Зоол. ин-та. Т. 327. № 3. С. 419.
<https://doi.org/10.31610/trudyzin/2023.327.3.419>
- Ao S., Ye L., Liu X. et al. 2022. Elevational patterns of trait composition and functional diversity of stream macroinvertebrates in the Hengduan Mountains region, Southwest China // *Ecol. Indic.* V. 144. P. 109558.
<https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2022.109558>
- Arana J., Tolentino D.A., Miranda R. et al. 2021. Distribución altitudinal de macroinvertebrados acuáticos y su relación con las variables ambientales en un sistema fluvial amazónico (Perú) // *Rev. Acad. Colomb. Cienc. Exactas Fis. Nat.* V. 45. № 177. P. 1097.
<https://doi.org/10.18257/raccefyn.1436>
- Bespalaya Y.V., Vinarski M.V., Aksenova O.V. et al. 2023. Phylogeny, taxonomy, and biogeography of the Sphaeriinae (Bivalvia: Sphaeriidae) // *Zool. J. Linn. Soc.* V. 20.
<https://doi.org/10.1093/zoolinnean/zlad139>
- Bray J.R., Curtis J.T. 1957. An ordination of the upland forest communities of southern Wisconsin // *Ecol. Monogr.* V. 27. № 4. P. 325.
<https://dx.doi.org/10.2307/1942268>
- Everitt B.S., Landau S., Leese M., Shtal D. 2011. Cluster analysis. Chichester: Wiley.
- Illies J., Botosaneanu L. 1963. Problemes et Methodes de la Classification et de la Zonation Ecologique des Eaux Courantes, Considerees surtout du Point de vue Faunistique // *Int. Ver. Theor. Angew. Limnol.* Bd 12. H. 2. S. 1.
- Hawkes H.A. 1997. Origin and development of the biological monitoring working party score system // *Water Res.* V. 32. № 3. P. 964.
[https://dx.doi.org/10.1016/S0043-1354\(97\)00275-3](https://dx.doi.org/10.1016/S0043-1354(97)00275-3)
- He F., Wu N., Dong X. et al. 2020. Elevation, aspect, and local environment jointly determine diatom and macroinvertebrate diversity in the Cangshan Mountain, Southwest China // *Ecol. Indic.* V. 108. P. 105618.
<https://doi.org/doi:10.1016/j.ecolind.2019.105618>
- Neubert E., Neseemann H. 1999. Annelida, Clitellata; Branchiobdellida, Acanthobdellae, Hirudinea // *Süsswasserfauna von Mitteleuropa*. Bd 6/2. Berlin: Spektrum Akademischer Verlag.
- Robert Wetzel. 2001. Limnology: Lake and River Ecosystems. London: Acad. Press.
- Vannote R.L., Minshall G.W., Cummins K.W. et al. 1980. The river continuum concept // *Can. J. Fish Aquat. Sci.* V. 37. P. 130.
- Woodiwiss F.S. 1978. Comparative study of biological-ecological water quality assessment methods // Summary Report. Commission of the European Communities. Severn Trent Water Authority. UK.

The Characteristics of Benthic Biocenoses of Rivers in Diverse Landscapes of the Upper Volga Basin

A. V. Goncharov^{1, *}, D. M. Palatov², A. G. Georgiadi³

¹Moscow State University, Moscow, Russia

²Severtsov Institute of Ecology and Evolution, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

³Institute of Geography, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

*e-mail: mama15333@mail.ru

The study of zoobenthos was conducted in July 2021 on small and medium-sized rivers of the Upper Volga from the village. Selizharovo to the Ivankovo reservoir in areas poorly affected by economic activity. The task was to study the features of river biocenoses in landscapes of different types. The western part of the territory under consideration is elevated (Valdai upland), the eastern part is low-lying (Upper Volga lowland); watercourses in these areas differ in flow velocity and type of bottom sediments. These two factors lead to differences in the composition of bottom biocenoses: in upland rivers, the number of species of mayflies, brooks, and spring wort is significantly higher than in watercourses of low-lying territories. There is a connection in the series: landscape – hydrological characteristics of rivers – bottom biocenoses. Water quality indicators – the Woodiwiss and *BMWP* indices indicate the uncontamination of watercourses. At the same time, the indicators themselves naturally change under the influence of landscape (and hydrological) parameters. Therefore, when conducting a biological indication of the Upper Volga watercourses, it is recommended to take into account the landscape features of the formation of bottom biocenoses.

Keywords: Valdai upland, bioindication, Shannon index, Woodiwiss index, *BMWP*, limnophiles, Plecoptera, Chironomidae