

Министерство просвещения Российской Федерации

Государственное бюджетное учреждение дополнительного образования Костромской области «Эколого-биологический центр «Следово» им. Ю.П. Карвацкого»

Всероссийский конкурс юных исследователей окружающей среды

**МАКРОЗООБЕНТОС РЕКИ СЕНДЕГИ В ГРАНИЦАХ ВЛИЯНИЯ
ПОСЕЛКА КАРАВАЕВО (КОСТРОМСКАЯ ОБЛАСТЬ):
КАЧЕСТВЕННАЯ И КОЛИЧЕСТВЕННАЯ ОЦЕНКА**

Автор:

ЕРМОЛИНА Полина Алексеевна,
9 класс МКОУ «Иконниковская СШ»
Красносельского муниципального р-на
Костромской области,

Научный руководитель:

АНЦИФЕРОВ Анатолий Леонидович,
кандидат биологических наук,
педагог дополнительного образования
ГБУДО КО ЭБЦ «Следово»
им. Ю.П. Карвацкого

КОСТРОМА

2018

СОДЕРЖАНИЕ

	Стр.
ВВЕДЕНИЕ.....	3
Глава 1. МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ.....	5
1.1. Географическое положение и природные условия реки Сендеги в районе исследований.....	5
1.2. Условия сбора фактических данных.....	6
1.3. Камеральная обработка и статистический анализ данных.....	7
1.4. Биоиндикация качества воды в реке Сендеге.....	8
Глава 2. РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ.....	10
2.1. Видовой состав и структура сообщества макрозообентоса реки Сендеги.....	10
2.2. Характеристика фауны зообентоса бассейна реки Сендеги по показателю встречаемости.....	11
2.3. Сравнение пробных участков водотока реки Сендеги по структурным параметрам фауны макрозообентоса.....	13
2.4. Анализ биоценотического сходства и кластеризация местообитаний макрозообентоса реки Сендеги.....	15
2.5. Оценка загрязненности реки Сендеги по качественным и количественным показателям.....	16
ВЫВОДЫ.....	19
ЛИТЕРАТУРА.....	20
ПРИЛОЖЕНИЯ.....	I-III

ВВЕДЕНИЕ

Несмотря на то, что малые реки давно стали модельным объектом исследований многих наук, работы на них остаются исключительно актуальными до настоящего времени (Дгебуадзе, 2011). Это связано не только с теми удобствами, которые малые реки представляют ученым (большое биотопическое разнообразие; большая чувствительность к естественным и антропогенным воздействиям; высокий уровень разработанности методик наблюдений; возможность проведения экспериментальных работ и др.), но и с их ролью в формировании и жизни более крупных водотоков, ландшафтов и биоценозов. Вместе с тем, оценка и прогноз состояния малых равнинных рек в настоящее время крайне затруднены в связи с недостатком информации об экологических процессах, происходящих в бассейнах рек в их естественном состоянии и при воздействии антропогенных факторов (Зинченко и др., 2014).

В Костромской области малые реки широко распространены и к их числу относится река Сендега. Местность, которую занимает бассейн этой реки, отличается высокой степенью хозяйственного освоения. Наиболее заметное экологическое воздействие оказывает, при этом, крупный и успешно развивающийся поселок Каравеево, располагающийся в непосредственной близости к руслу реки. Растущая интенсивность хозяйственной деятельности поселка представляет серьезную угрозу экологическому равновесию водоема. В связи с этим мониторинг биоразнообразия и экологического состояния реки Сендеги являются актуальными.

В настоящее время, системы мониторинга поверхностных вод, как в США, так и в странах ЕС претерпели существенные изменения. Основа этих изменений – переход от чисто химического контроля на биологический, который основан на системе биоиндикации (Семенченко, 2004).

Важнейшими чувствительными индикаторами загрязнения и эвтрофикации водных объектов являются донные беспозвоночные (макрозообентос) и их сообщества (Безматерных, 2008). Использование зообентоса для биоиндикации более целесообразно, т. к. его представители имеют длинные жизненные циклы по сравнению, например, с зоопланктоном и всегда присутствуют в биоценозе. При этом степень изученности данной группы организмов на территории Костромской области недостаточна.

Настоящая работа, благодаря применению новых способов анализа данных по дополнительным аспектам, существенно дополняет информационную базу предыдущих лет (Ермолина, 2017; Ермолина, Анциферов, 2018) новыми сведениями.

Цель работы: изучить особенности структуры сообщества макрозообентоса (далее МЗБ) и динамику биотических показателей качества водотока реки Сендеги в условиях близости крупного населенного пункта на примере п. Караваево.

Задачи:

1. Произвести отлов, учет и определение представителей МЗБ в различных участках речного русла в границах влияния поселка Караваево;
2. Оценить таксономическое разнообразие, обилие и встречаемость МЗБ реки в зависимости от местоположения учетных площадок и характера местообитания;
3. Произвести сравнение сообществ МЗБ контрольных участков речного русла на основе статистических критериев, кластеризации и ординации и показателя биоценотического сходства;
4. Оценить качество речной водной среды по биотическим показателям, основанным на изучении структуры МЗБ.

Глава 1. МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ

1.1. Географическое положение и природные условия реки Сендеги в районе исследований

Река Сендега, правый приток реки Покши (левый приток р. Волги II-го порядка), протекает по территории Костромской низины и берет свое начало в лесном массиве в 1 км к востоку от села Никольское. Бассейн реки занимает территорию двух муниципальных районов Костромской области – Костромского и Красносельского. Имеет длину около 30 км, среднюю ширину 5 м, впадает в реку Покшу в окрестностях д. Большое Андрейково.

Река Сендега протекает по естественному руслу, но сильно подвержена антропогенному воздействию. Русло реки пересекает крупные населенные пункты – с. Никольское, с. Губачево, пос. Караваево, д. Руболдино. Долина реки характеризуется слабой лесистостью, высокой степенью сельскохозяйственной освоенности (пахотные и пастбищные угодья, садовые кооперативы), плотной транспортной инфраструктурой и т. д. Рыбохозяйственное значение реки Сендеги определяется наличием мест нереста и кормления промысловых видов рыб. Ведется активный любительский рыболовный промысел.

Непосредственно в поселке Караваево активно функционируют: крупный животноводческий комплекс, жилищно-коммунальное хозяйство, частные садово-огородные хозяйства и кооперативы, гаражные кооперативы и др.

1.2. Условия сбора фактических данных

Отбор проб производился в летний период 2018 года. Станции отбора проб располагались в 3 участках русла реки, удаленных друг от друга на расстоянии около 1,5 км (рис. 1).

Экологический статус реки или речного бассейна определяется по отношению к эталонным створам (Семенченко, 2004). В нашем случае эталонным створом является I-я станция отбора проб, которая расположена выше остальных, на входе реки в зону поселка, в северо-восточной его окраине (рис. 1); местоположение II-й станции расположено на выходе из зоны поселка, в юго-западной окраине; III-я станция – в 1,5 км ниже предыдущего участка, вблизи д. Семёново.

С учетом принципа повторности экспериментальных данных отбор проб в каждой станции производился в 5 отдельных створах, расположенных на расстоянии 20-40 м друг от друга и отражающих наибольший спектр донных условий.

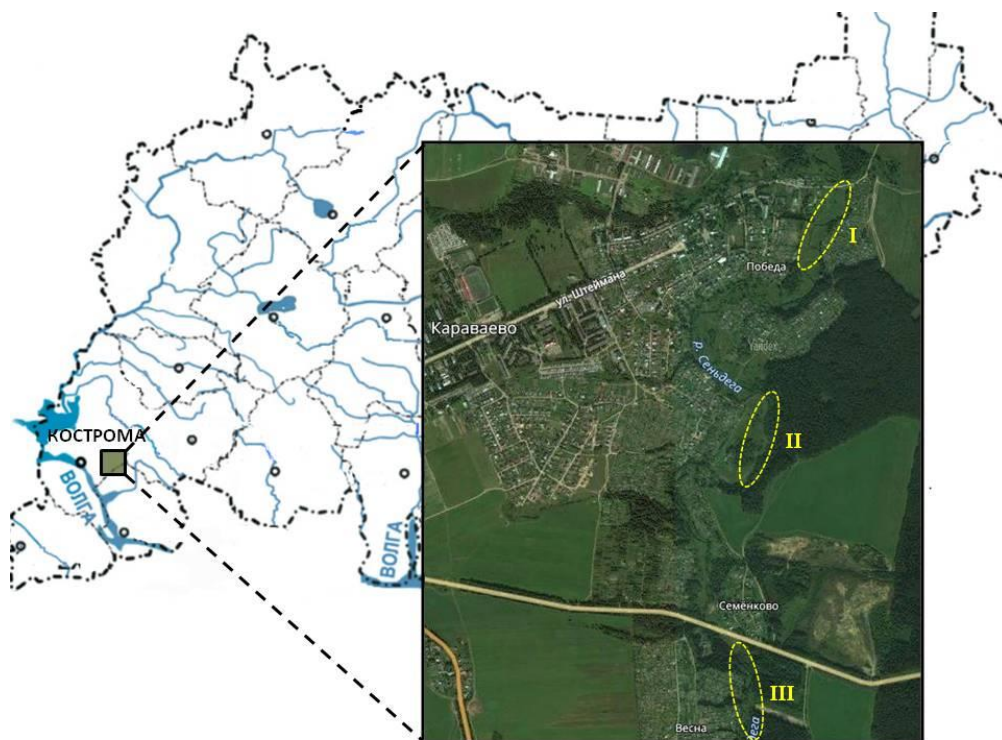


Рис. 1. Полигон исследований. Схема расположения учетных площадок (обозначения I, II, III – № станций отбора проб)

Сбор фактического материала производился с использованием стандартных орудий лова: водный сачок-промывалка и донный скребок (Голуб и др., 2012; Лобуничева и др., 2013), что позволяет оценить

численность и состав обитателей водоема и соответствует задачам полевых исследований.

После промывания материал переносился в лоток, подвергался выборке пинцетом и переносился в емкости: стеклянные герметичные банки. Банки маркировались. Для дальнейшего определения экземпляры фиксировались раствором формалина.

1.3. Камеральная обработка и статистический анализ данных

Определение экземпляров бентосной фауны производилось по определительным таблицам Б. М. Мамаева (1972), М. В. Чертопруд и Е. С. Чертопруд, (2011), М. В. Маюрова (2016) и др.

При характеристике роли вида по обилию использовалась наиболее часто применяемая в гидробиологии шкала Крогеруса: доминанты – составляют более 5% общего количества особей, инфлюенты (субдоминанты) – от 2 до 5%, реценденты (редкие) – менее 2% (Экологический мониторинг ..., 2006).

Для оценки значимости отдельного вида в сообществе речного бассейна использована наиболее часто употребляемая в гидробиологии шкала встречаемости: константные виды – встречаемость более 50%, второстепенные – 25-50%, случайные – менее 25% (Экологический мониторинг..., 2006).

Для того чтобы оценить, насколько стабильно население МЗБ (по числу особей) реки Сендеги в границах влияния пос. Караваево был использован коэффициент вариации (Ивантер, Коросов, 2005):

$$CV = \delta * 100 / M$$

Где δ – среднее квадратичное (стандартное) отклонение, M – среднее арифметическое признака.

В сравнительном анализе группировок бентосной фауны каждого типа грунта использован коэффициент видового сходства Жаккара (k), вычисляемый по формуле:

$$k = c / a+b-c,$$

где a – количество видов в одном пробном участке, b – количество видов в другом пробном участке, c – количество видов, встречающихся одновременно в обоих сравниваемых участках (Экологический мониторинг..., 2000).

Известно, что основные гидробиологические показатели (численность и биомасса) не удовлетворяют исходным предположениям о нормальности распределения и для их анализа не могут быть использованы параметрические методы и критерии (Шитиков и др., 2003). По этой причине для сравнения средних в группах по пробным станциям и типам грунта применялся непараметрический критерий – ранговый дисперсионный анализ (ДА) Фридмана (Боровиков, 2003; Шитиков и др., 2003; Ивантер, Коросов, 2005).

Для выявления уровня статистической значимости сравниваемых объектов применялся непараметрический критерий Вилкоксона.

Описательные статистики (Box-plot), кластерный анализ, критерий Вилкоксона, и дисперсионный анализ (ДА) Фридмана выполнялись с использованием пакета прикладных программ «STATISTICA 10» (Буреева, 2007; Боровиков, 2003; 2013).

1.4. Биоиндикация качества воды в реке Сендеге

Одной из задач гидробиологических исследований является выбор таких методов и критериев биоиндикации, которые адекватно отражают уровень антропогенного воздействия на водные объекты (Семенченко, 2004; Шитиков и др., 2005). Для оценки уровня загрязненности воды в исследуемых участках реки применялся биотический показатель из числа

рекомендованных Европейской Рамочной Водной Директивой (WFD)¹ – **TBI**, Trent Biotic Index (индекс Вудивисса) (Шитиков и др., 2003; Семенченко, 2004; Чертопруд, Чертопруд, 2011). Установлено, что данный индекс обладает наибольшим постоянством в «эталонных» условиях (основное требование к метрике) и является одним из наиболее информативных методов для оценки качества вод малых рек (Головатюк, Зинченко, 2011). Индекс TBI до настоящего времени является одним из основных в системах биоиндикации различных стран, в том числе стран СНГ (Семенченко, 2004).

В качестве альтернативной метрики сапробности водотока использовался индекс сапробности Пантле-Букка (*I*), модифицированный М.В. Чертопруд в 2002 году (Чертопруд, 2002, 2007; Чертопруд, Чертопруд, 2011):

$$I = \Sigma(S \times J) / \Sigma J,$$

где *S* – сапробность каждого найденного в пробе индикаторного таксона (от 0 до 4). *J* – его индикаторный вес (от 1 до 4).

По данным автора метрики, последняя модификация индекса Пантле-Букка более адекватно отражает уровень реального загрязнения.

Так же, применялся олигохетный индекс Пареле (*D*):

$$D = \text{числ. олигохет} / \text{числ. бентоса}.$$

Индекс *D* предложен для оценки быстро текущих рек с хорошей аэрацией, где развивается разнообразная донная фауна.

¹ Европейская рамочная директива (WFD) принята в 2000 году и дала существенный толчок развитию и совершенствованию систем биоиндикации в странах ЕС. Этот документ регламентирует подходы в политике охраны, использования и управления водными ресурсами.

Глава 2. РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

2.1. Видовой состав и структура сообщества макрозообентоса реки Сендеги

Всего за период исследований в водотоке реки Сендеги учтено **608** особей МЗБ, составляющих **33 вида** беспозвоночных из 4-х таксономических классов и 28 семейств (табл. 1 приложения).

В общем составе классов бентосных организмов наиболее богаты видами насекомые – 18 видов. Другие классы беспозвоночных представлены в меньшем видовом разнообразии: брюхоногие моллюски (*Gastropoda*) и поясковые черви (*Clitellata*) – по 5 видов; пластинчатожаберные моллюски (*Bivalvia*) – 4 вида; (рис. 2).

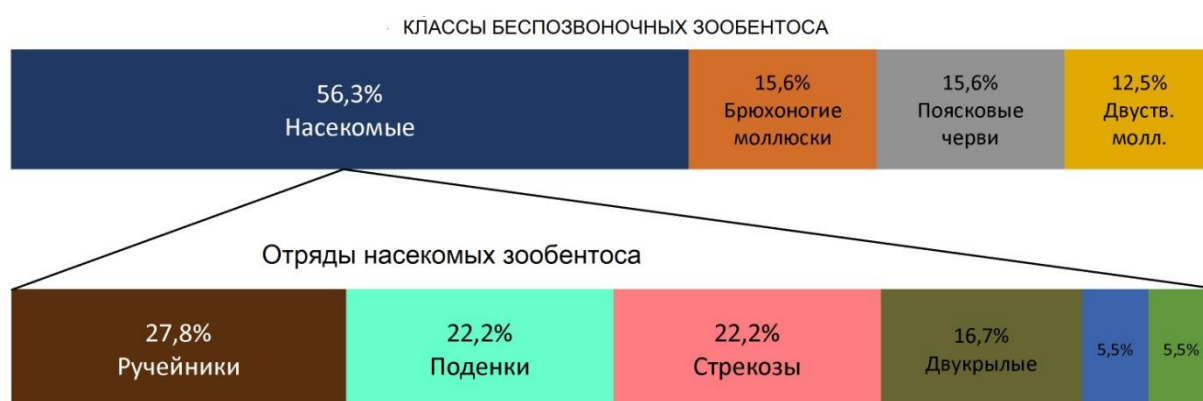


Рис. 2. Таксономическая структура сообщества макрозообентоса в водотоке реки Сендеги

В свою очередь, класс насекомых МЗБ представлен 6 отрядами. Из них наиболее разнообразны ручейники (*Trichoptera*) – 5 видов (27,8% от общего видового состава насекомых); поденки (*Ephemeroptera*) и стрекозы (*Odonata*) представлены в равном количестве – по 4 вида (по 22,2%); двукрылых (*Diptera*) – 3 вида (16,7%); отряды веснянок (*Plecoptera*) и чешуекрылых (*Lepidoptera*) включают по 1 виду (по 5,5%).

В общем составе бентосной фауны реки Сендеги численно доминируют (<5% от общей численности) следующие 7 видов бентосной фауны:

- трубочник обыкновенный (*Tubifex tubifex* Müll.) – 15,2%;
- пиявка малая ложноконская (*Herpobdella octoculata* L.) – 13%;
- ручейник экномус нежный (*Ecnomus tenellus* Ramb.) – 11,4%;
- звонец уклончивый (*Clinotanypus* sp.) – 9,9%;
- дождевой червь 4-гранный (*Eiseniella tetraegra* Savigny) – 7,9%;
- горошинка речная (*Pisidium amnicum* Müll.) – 7,2%;
- шаровка речная (*Sphaerium rivicola* Lamarck) – 6,1%.

Общая масса доминантных видов МЗБ реки Сендеги составила 70,7%, инфлюентов – 17,7%, рецедентов (редких) – 11,6% от всего обилия донных беспозвоночных. Подобная структура доминирования говорит о высокой степени разброса численных данных, при котором небольшое число видов имеет высокие значения численности, и не лучшим образом отражается на устойчивости сообщества бентосной фауны.

2.2. Характеристика фауны макрозообентоса водотока реки Сендеги по показателю встречаемости

В ходе наших исследований выявлено 5 самых широко распространенных (константных) видов МЗБ в реке Сендеге – рис. 3. Данные виды обнаружены в большей части учетных точек исследуемого отрезка водотока Сендеги, они встречаются в разнообразных местообитаниях и, следовательно, более толерантны к изменениям условий среды. Общая доля этих видов от общего состава МЗБ не велика – 15,6% (рис. 4).

В основной массе (46,9%) фауна донных беспозвоночных в Сендеге представлена «случайными» видами, которые встретились всего в 1-3 пробных точках.

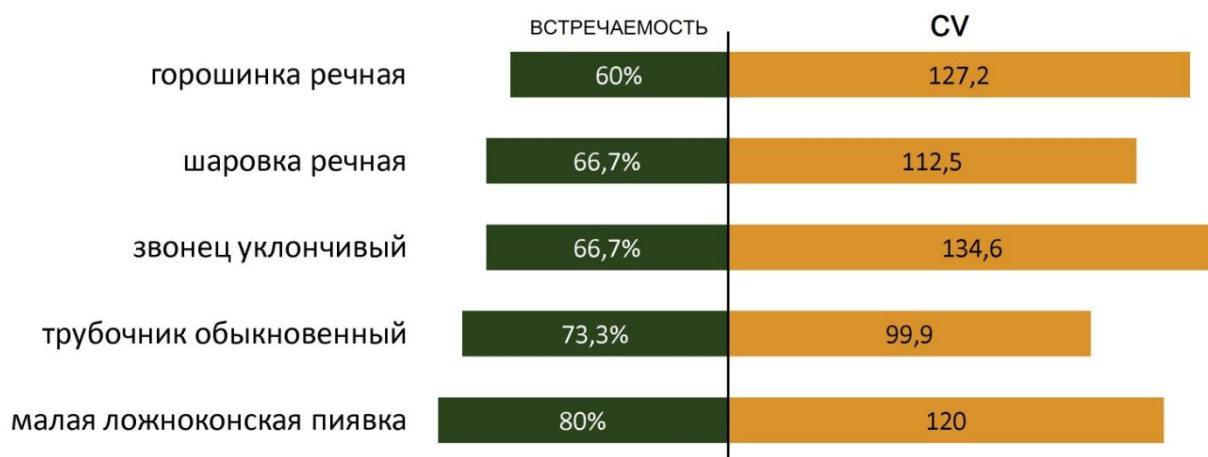


Рис. 3. Соотношение константных видов макрозообентоса по величине индексов встречаемости и вариации (CV)

Например, веснянка *Siphonoperla burmeisteri* Pictet и пиявка *Caspiobdella fadejewi* Erstein обнаружены только на I-й станции отбора проб, звонец разветвленный – только на II-й станции; ручейник *Molanna angustata* Curtis и поденка *Acentrella lapponica* Bengtsson – только на III-ей пробной станции. Это более прихотливые виды и их высокая общая доля указывает на «пестрый» (разнообразный) характер донных условий водотока реки Сендеги.



Рис. 4. Разделение фауны макрозообентоса водотока реки Сендеги по шкале встречаемости

Коэффициент вариации (CV) видов МЗБ показывает относительно высокие значения, находящиеся в широком диапазоне – от 99,9 (трубочник обыкновенный) до 324,6 (веснянка *S. burmeisteri*). При этом для самых распространенных представителей МЗБ характерны минимальные

показатели CV, не превышающие значения 134,6 (рис. 3), что характеризует эти виды еще и как наиболее стабильные по уровню численности.

2.3. Сравнение пробных участков водотока реки Сендеги по структурным параметрам фауны макрозообентоса

Абсолютные показатели видового богатства зообентоса и обилия отдельных групп организмов могут изменяться при антропогенном воздействии и, следовательно, в определенной степени, отражать его величину (Шитиков и др., 2003). Значимость местоположения пробных участков русла относительно той или иной части поселка может быть определена с помощью статистических методов сравнения.

Уровень видового богатства и численности МЗБ в пределах зоны влияния пос. Каравеево изменяется не значительно: видовое богатство – в пределах от 18 видов на II-й станции до 24 видов на III-й станции отбора проб (ДА Фридмана = 0,7); численность – от 234 экз. на II-й пробной станции) до 215 экз. на I-й (ДА Фридмана =0,4). Невысокий уровень дисперсии данных (рис. 5) говорит о незначительном влиянии пос. Каравеево на качественные и количественные параметры МЗБ реки Сендеги.

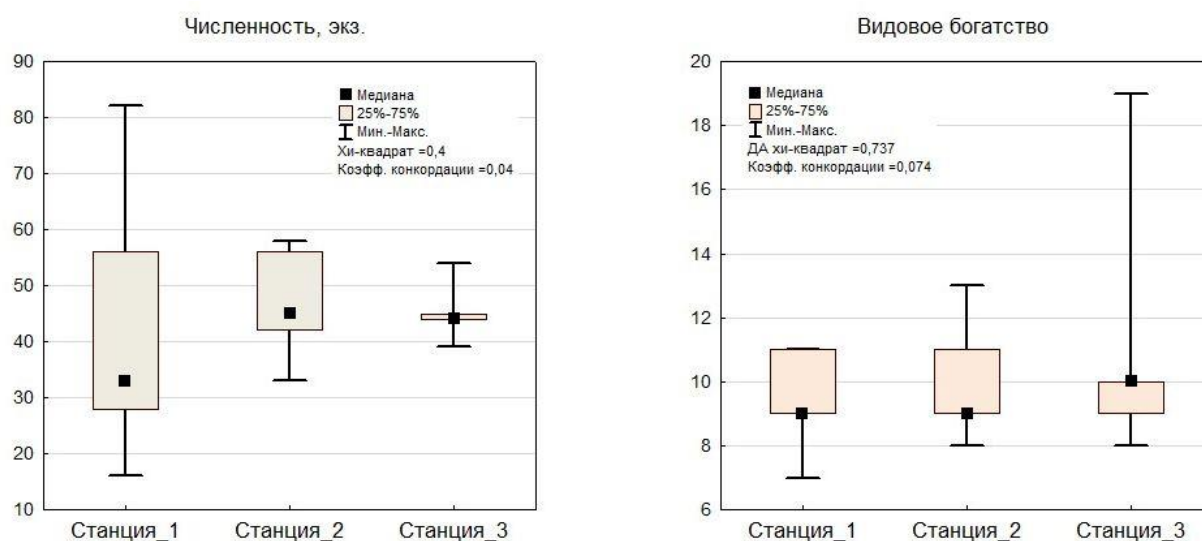


Рис. 5. Сравнение сообществ макрозообентоса станций отбора проб по численности и видовому богатству методом дисперсионного анализа Фридмана

Иной результат образуется при сравнении групп МЗБ не по географическому принципу (станциям отбора проб), а по характеру местообитания (донные условия, тип грунта). Показатель дисперсии в этом случае заметно выше: ДА =3,673 для видового богатства и ДА =6,441 для обилия.

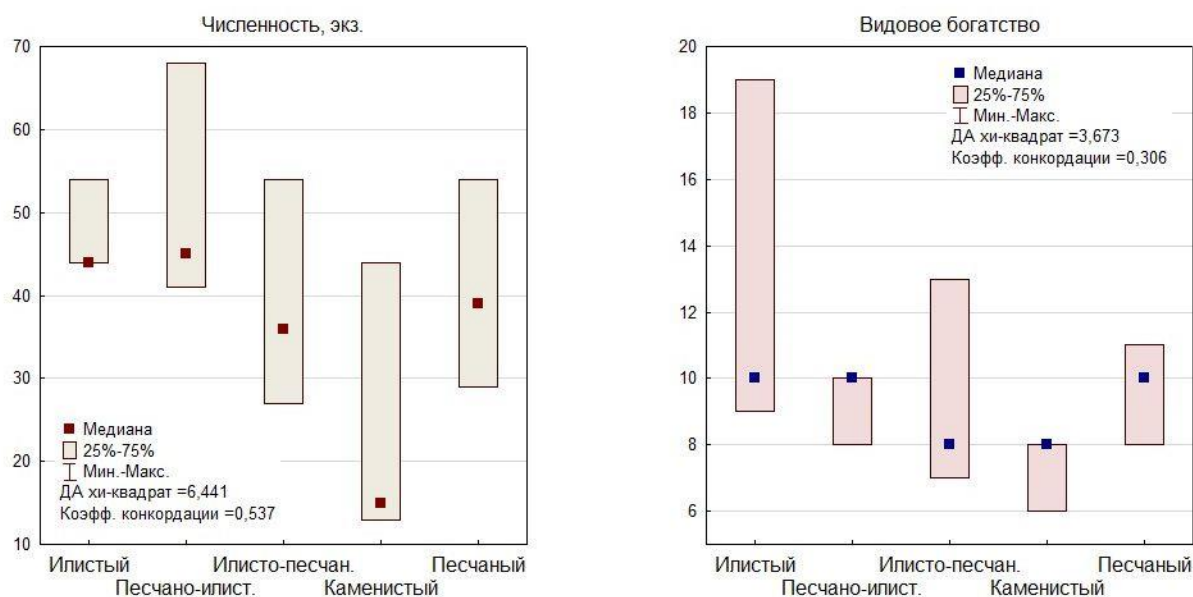


Рис. 6. Сравнение сообществ макрозообентоса разных типов грунта по численности и видовому богатству методом дисперсионного анализа Фридмана

Выявленные различия дают основания полагать, что влияние поселка Караваево, расположенного по берегам реки, не столь велик по сравнению с фактором естественных биотопических условий, с которыми, в большей степени, и связано изменение структурных параметров МЗБ. При этом, согласно критерию Вилкоксона уровни различий между сообществами МЗБ разных станций, а также между разными типами грунта статистически не значимы – $p > 0,05$.

2.4. Анализ биоценологического сходства и кластеризация местообитаний макрозообентоса реки Сендеги

Результаты вычисления коэффициента сходства (k) между сообществами МЗБ реки Сендеги на разных типах грунта в зоне влияния пос. Караваево в большинстве сравниваемых пар показывают средний уровень общности (табл. 1).

Таблица 1

Матрица попарного сравнения сообществ макрозообентоса реки Сендеги на разных типах грунта* по коэффициенту Жаккара (k)

	П_Ил	Ил_П	Кам	Пес
Ил	0,5	0,4	0,5	0,5
П_Ил		0,5	0,65	0,6
Ил_П			0,4	0,5
Кам				0,7

*Условные обозначения: Ил - илистый, П_Ил – песчано-илистый, Ил_П – илисто-песчаный, Кам – каменистый, Пес - песчаный.

При этом, наибольший уровень общности выявлен между сообществами зообентоса следующих типов речного грунта: каменистого и песчаного ($k = 0,74$); каменистого и песчано-илистого ($k = 0,65$).

Результаты кластеризации выявляют наличие единственной группировки местообитаний, тесно связанных между собой по схожести видового состава МЗБ (рис. 7), которая объединяет каменистый, песчаный и песчано-илистый типы грунта. Указанные местообитания наиболее схожи между собой по признаку видового богатства.

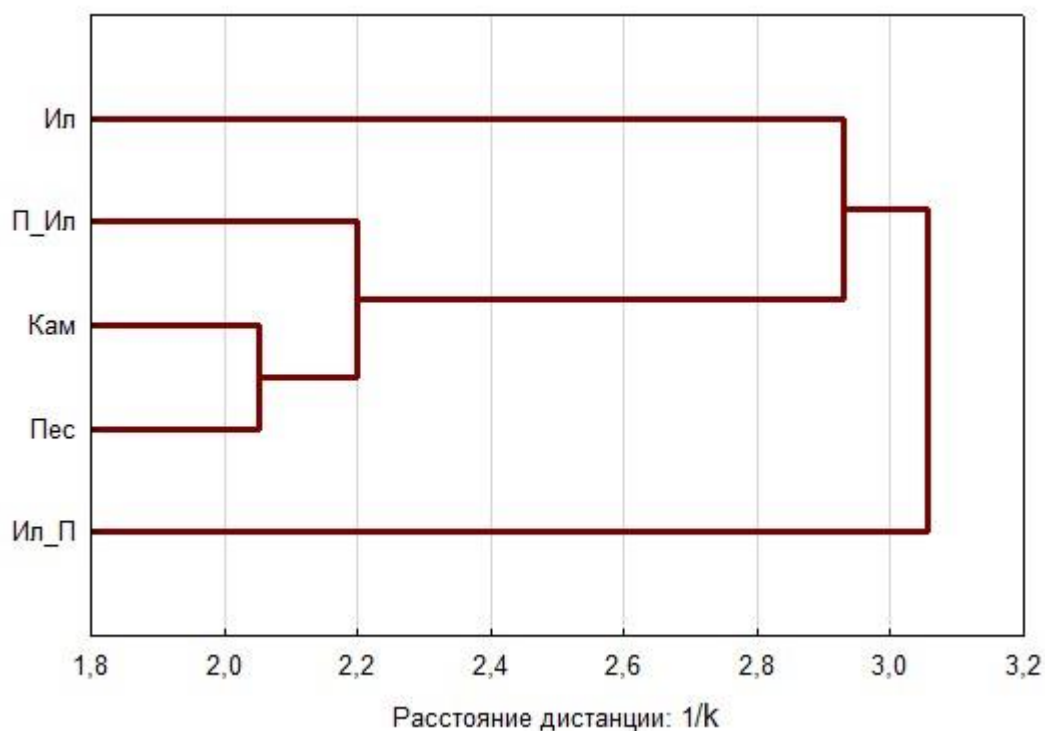


Рис. 7. Дендрограмма кластеризации сообществ макрозообентоса на разных типах грунта реки Сендеги по сходству видового состава (k) (условные обозначение как в табл. 1)

2.5. Оценка загрязненности реки Сендеги по качественным и количественным показателям

Вычисление биотического индекса ТВІ (Вудивисс) и индекса сапробности по М.В. Чертопруду дает противоречивые результаты (табл. 2). Индекс Вудивисса классифицирует качество воды в Сендеге как «чистая» на протяжении всего исследуемого отрезка. Индекс сапробности по М.В. Чертопруду также стабилен и указывает на мезосапробную зону в пределах трех станций, что не соответствует классу «Чистая».

Таким образом два используемых метода дают различные результаты в оценке качества воды, но оба показателя одинаково слабо чувствительны к изменению условий местообитания МЗБ.

Таблица 2

Результаты определения качества воды в р. Сендеге по методу Вудивисса и М.В. Чертопруда

Станции наблюдений	Вудивисс		Чертопруд	
	индекс	класс качества	индекс	сапробность
Караваево_сев	9	чистая	2,06	мезосапробная
Караваево_юг	8	чистая	2,27	мезосапробная
Семенково	9	чистая	2,28	мезосапробная

Большой чувствительностью к изменению качества воды обладает олигохетный индекс Пареле, что подтверждается результатами расчетов и статистическими методами.

В отношении такой группы индикаторов, как олигохеты замечено, что они, обычно не многочисленны в донных биоценозах, в местах спуска бытовых стоков часто развиваются в огромных количествах. Поэтому многими гидробиологами массовое развитие олигохет расценивается как показатель загрязнения (Шитиков и др., 2003).

Олигохетный индекс (D) Пареле показывает смену уровня загрязненности водотока Сендеги от олигосапробного класса (чистая) качества воды (на эталонной станции) к олиго- β -мезосапробному (условно-чистая) на (II-й станции) и далее к β -мезосапробному классу (слабо загрязненная) качества (табл. 2).

Таблица 2

Изменение качества воды в реке Сендеге в зоне влияния пос. Караваево

Станция	D	Зона сапробности	Класс качества воды
I – северо-вост. окраина (эталон)	0,05	олигосапробная	чистая
II – юго-зап. окраина	0,23	олиго- β -мезосапроб	условно чистая
III – д. Семёново	0,35	β -мезосапробная	слабо загрязненная

Дисперсионный анализ показывает статистически значимый уровень отклонения численности олигохет от эталонной станции (станция-1) в сторону увеличения – $p < 0,02$; ДА $\chi^2 = 7,44$ (рис. 8).

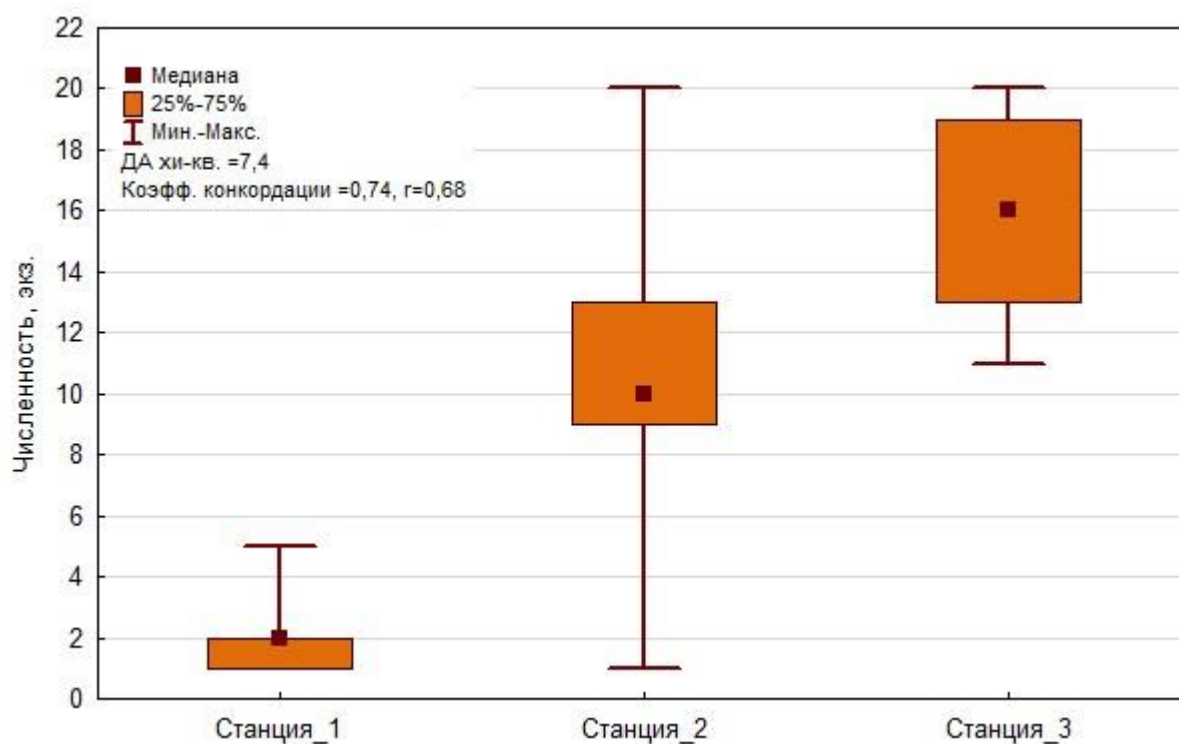


Рис. 8. Сравнение станций отбора проб по численности олигохет методом дисперсионного анализа Фридмана

ВЫВОДЫ

Полученные в ходе исследований данные позволяют расширить сведения об эколого-фаунистической структуре бентосных организмов бассейна и дают основание сделать следующие выводы.

1. В составе зообентоса бассейна реки Сендеги по уровню видового богатства господствует класс насекомых, внутри которого наиболее разнообразны отряды ручейников, поденок, стрекоз и двукрылых.

2. Высокая процентная доля «случайных» видов зообентоса указывает на многообразие донных условий бассейна реки Сендеги. Группа константных видов малочисленна, но они самые стабильные по численности (согласно минимальным значениям индекса вариации). В целом сообщество МЗБ исследуемого участка русла сильно варьирует по численности.

3. Сравнение разных станций наблюдений не дает значимых различий по видовому богатству и численности макрозообентоса. Эти параметры более чувствительны к фактору условий грунта реки.

4. По результатам кластеризации выявлена единственная группировка типов грунта реки Сендеги, максимально схожих по видовой структуре МЗБ. В нее входят каменистый, песчаный и песчано-илистый типы грунта.

5. Наибольшая чувствительность к изменению качества воды выявлена для олигохетного индекса Пареле, что подтверждается статистическими методами. На основе данного индекса выявлено значимое изменение классов качества речной воды в Реке Сендеге: от класса «чистая» (на эталонной станции) к классу «условно чистая» (на выходе из зоны пос. Караваяево) и далее к классу «слабо загрязненная» (в 1,5 км ниже пос. Караваяево).

ЛИТЕРАТУРА

1. Безматерных Д.М. Зообентос равнинных притоков Верхней Оби: монография. Барнаул: изд-во Алт. ун-та, 2008. 186 с.
2. Боровиков В.П. Искусство анализа данных на компьютере: Для профессионалов. СПб.: Питер, 2003. 688 с.
3. Боровиков В.П. Популярное введение в современный анализ данных в системе STATISTICA. Учебное пособие для вузов. М.: Горячая линия-Телеком, 2013. 288 с.
4. Буреева Н.Н. Многомерный статистический анализ с использованием ППП «STATISTICA». Нижний Новгород, 2007. 112 с.
5. Головатюк Л.В., Зинченко Т.Д. Сравнительный анализ биотических индексов и метрик в оценке качества воды малых рек бассейна нижней Волги // Экология малых рек в XXI веке: биоразнообразие, глобальные изменения и восстановление экосистем. Тезисы докладов Всеросс. конф. с междун. уч-ем (г. Тольятти, 5-8 сентября 2011 г.) / отв. ред. Т. Д. Зинченко, Г. С. Розенберг. Тольятти: Кассандра, 2011. с. 37.
6. Голуб В.Б., Цуриков М.Н., Прокин А.А. Коллекции насекомых: сбор, обработка и хранение материала. М.: Товарищество научных изданий КМК, 2012. 339 с.
7. Дгебуадзе Ю.Ю. Малые реки: актуальность, методы и перспективы исследований // Экология малых рек в XXI веке: биоразнообразие, глобальные изменения и восстановление экосистем. Тезисы докладов Всеросс. конф. с междун. уч-ем (г. Тольятти, 5-8 сентября 2011 г.) / отв. ред. Т. Д. Зинченко, Г. С. Розенберг. Тольятти: Кассандра, 2011. с. 45.
8. Ермолина П.А. Макрозообентос и экологическое состояние бассейна реки Покша Костромской области // Природа Костромского края: современное состояние и экомониторинг. Материалы Межрегиональной научно-практической конференции. Кострома: Костром. гос. ун-т., ОГБУК «Музей природы Костромской области», 2017. С. 203-208.

9. Ермолина П.А., Анциферов А.Л. Параметры структуры и распространения фауны зообентоса в бассейне реки Покши (Костромская область) и их значение в биоиндикации водоема // Трудовые традиции: молодежный аспект: Сборник статей научно-практической конференции молодых исследователей. Караваево, Костромская ГСХА, 2018. С. 48-53.

10. Зинченко Т.Д., Шитиков В.К., Головатюк Л.В., Номоконова В.И., Попченко В.И., Абросимова Э.В. Экосистемный подход к проблеме биоиндикации рек бассейна средней и нижней Волги (обзор) // Астраханский вестник экологического образования. 2014. №1(27). С. 58-67.

11. Ивантер Э.В., Коросов А.В. Элементарная биометрия: Учебное пособие. Петрозаводск: ПетрГУ, 2005. 104 с.

12. Лобуничева Е.В., Борисов М.Я., Филоненко И.В., Филиппов Д.А. Оценка экологического состояния малых водоёмов: учебное пособие. Вологда, 2013. 218 с.

13. Мамаев Б.М. Определитель насекомых по личинкам. М.: Просвещение, 1972. 400 с.

14. Маюрова М.В. Атлас-определитель пресноводных беспозвоночных Ханты-Мансийского автономного округа – Югры. Сургут: МБОУ ДО СЮН, 2016. 89 с.

15. Семенченко В.П. Принципы и системы биоиндикации текучих вод. Мн.: Орех, 2004. 125 с.

16. Чертопруд М.В. Модификация метода Пантле-Букка для оценки загрязнения водотоков по качественным показателям макробентоса // Водные ресурсы. 2002. Т.29. № 3. С. 337-342.

17. Чертопруд М.В., 2007. Модификация индекса сапробности Пантле-Букка для водоемов Европейской России // Материалы международной конференции «Биоиндикация в мониторинге пресноводных экосистем» (Санкт-Петербург, 23–27.10.2006). СПб.: ЛЕМА. С. 298–302.

18. Чертопруд М.В., Чертопруд Е.С. Краткий определитель беспозвоночных пресных вод центра Европейской России. М.: Товарищество научных изданий КМК, 2011. 219 с.

19. Шитиков В.К., Розенберг Г.С., Зинченко Т.Д. Количественная гидроэкология: методы системной идентификации. Тольятти: ИЭВБ РАН, 2003. 463 с.

20. Экологический мониторинг. Методы биологического и физико-химического мониторинга. Часть IV / под ред. проф. Д.Б. Гелашвили. Нижний Новгород: изд-во Нижегородского ун-та, 2000. С. 253-254.

21. Экологический мониторинг. Методы биологического и физико-химического мониторинга. Часть VI / под ред. проф. Д.Б. Гелашвили. Нижний Новгород: изд-во Нижегородского ун-та, 2006. С. 75.

<i>Df</i>	Уровень значимости, α				
	0.95	0.75	0.25	0.05	0.01
1	–	0.10	1.32	3.84	6.63
2	0.10	0.58	2.77	5.99	9.21
3	0.35	1.21	4.11	7.81	11.34
4	0.71	1.92	5.39	9.49	13.28
5	1.15	2.67	6.63	11.07	15.09
6	1.64	3.45	7.84	12.59	16.81
7	2.17	4.25	9.04	14.07	18.48
8	2.73	5.07	10.22	15.51	20.09
9	3.33	5.90	11.39	16.92	21.67
10	3.94	6.74	12.55	18.31	23.21
11	4.57	7.58	13.70	19.68	24.72
12	5.23	8.44	14.85	21.03	26.22
13	5.89	9.30	15.98	22.36	27.69
14	6.57	10.17	17.12	23.68	29.14
15	7.26	11.04	18.25	25.00	30.58
16	7.96	11.91	19.37	26.30	32.00
17	8.67	12.79	20.49	27.59	33.41
18	9.39	13.68	21.60	28.87	34.81
19	10.12	14.56	22.72	30.14	36.19
20	10.85	15.45	23.83	31.41	37.57
21	11.59	16.34	24.93	32.67	38.93
22	12.34	17.24	26.04	33.92	40.29
23	13.09	18.14	27.14	35.17	41.64
24	13.85	19.04	28.24	36.42	42.98
25	14.61	19.94	29.34	37.65	44.31
26	15.38	20.84	30.43	38.89	45.64
27	16.15	21.75	31.63	40.11	46.96
28	16.93	22.66	32.62	41.34	48.28
30	18.49	24.48	34.80	43.77	50.89
40	26.51	33.66	45.62	55.76	63.69
50	34.76	42.94	56.33	67.50	76.15
60	43.19	52.29	66.98	79.08	88.38
70	51.74	61.70	77.58	90.53	100.42
80	60.39	71.14	88.13	101.88	112.33
90	69.13	80.62	98.64	113.14	124.12
100	77.93	90.13	109.14	124.34	135.81

Рис. 1. Значения критерия χ^2 Пирсона (скриншот из Ивантер, Коросов, 2005)

Список таксонов – индикаторов сапробности
Обозначены: S – сапробность, J – индикаторный вес таксона.

ТАКСОН	S	J	ТАКСОН	S	J	ТАКСОН	S	J
СТРЕКОЗЫ			РУЧЕЙНИКИ			ВЕС.ЛОКРЫЛКИ		
<i>Calopterygidae</i>	2.5	2.0	<i>Rhyacophilidae</i>	1.0	4.0	<i>Sialidae</i>	2.0	1.0
<i>Platycnemididae</i>	3.0	2.0	<i>Hydropsychidae</i>	2.0	1.0	РАКООБРАЗНЫЕ		
<i>Coenagrionidae</i>	3.5	1.0	<i>Arctopsychidae</i>	1.0	3.0	<i>Azeliidae</i>	3.0	2.0
<i>Lestidae</i>	3.0	3.0	<i>Polycentropodidae</i>	1.5	2.0	<i>Gammaridae</i>	2.5	2.0
<i>Aeschnidae</i>	3.0	3.0	<i>Psychomyiidae</i>	2.0	3.0	<i>Astacidae</i>	2.0	2.0
<i>Corduliidae</i>	2.0	2.0	<i>Hydroptilidae</i>	2.0	2.0	БРЮХОНОГНЕ		
<i>Libellulidae</i>	3.0	3.0	<i>Glossosomatidae</i>	0.5	4.0	<i>Ancylidae</i>	1.5	2.0
<i>Gomphidae</i>	2.0	3.0	<i>Sericostomatidae</i>	1.5	2.0	<i>Acroloxidae</i>	2.5	1.0
<i>Cordulegasteridae</i>	1.5	3.0	<i>Beraeidae</i>	2.0	2.0	<i>Lymnaeidae</i>	2.5	1.0
ПОДЕНКИ			<i>Leptoceridae</i>	2.5	2.0	<i>Bulinidae</i>	2.5	1.0
<i>Ephemeraidae</i>	1.5	2.0	<i>Brachycentridae</i>	2.0	2.0	<i>Physidae</i>	3.0	1.0
<i>Polytmataxidae</i>	2.0	2.0	<i>Lepidostomatidae</i>	1.5	2.0	<i>Planorbidae</i>	3.0	1.0
<i>Potamanthidae</i>	2.0	3.0	<i>Molannidae</i>	2.0	2.0	<i>Viviparidae</i>	2.5	1.0
<i>Heptageniidae</i>	2.0	1.0	<i>Phryganeidae</i>	2.5	2.0	<i>Bithyniidae</i>	2.5	1.0
<i>Baetidae</i>	2.0	1.0	<i>Goeridae</i>	1.0	4.0	<i>Vaiidae</i>	3.0	1.0
<i>Siphonuridae</i>	2.5	2.0	<i>Apataniidae</i>	0.5	4.0	<i>Neritidae</i>	2.0	2.0
<i>Metretopodidae</i>	1.0	2.0	<i>Limnephilidae</i>	2.0	1.0	<i>Lithoglyphidae</i>	2.5	1.0
<i>Ameletidae</i>	0.5	4.0	ЖУКИ			ДУВСТВОРЧАТЫЕ		
<i>Leptophlebiidae</i>	1.5	1.0	<i>Gyrinidae</i>	2.5	1.0	<i>Unionidae</i>	2.5	1.0
<i>Ephemereilidae</i>	2.0	3.0	<i>Dytiscidae</i>	2.5	1.0	<i>Dreissenidae</i>	2.5	1.0
<i>Coenidae</i>	2.5	3.0	<i>Halipidae</i>	2.5	1.0	<i>Sphaeriidae</i>	2.5	1.0
БЕСНЯНКИ			<i>Noteridae</i>	2.5	1.0	<i>Pisidiidae</i>	2.0	1.0
<i>Periodidae</i>	1.0	4.0	<i>Helophoridae</i>	3.0	1.0	<i>Euglesidae</i>	2.5	1.0
<i>Chloroperiidae</i>	1.0	3.0	<i>Hydrophilidae</i>	3.0	1.0	ПШЯВКИ		
<i>Taeniopterigidae</i>	1.5	3.0	<i>Hydrochidae</i>	3.0	1.0	<i>Hirudimidae</i>	3.0	2.0
<i>Nemouridae</i>	2.0	1.0	<i>Hydraenidae</i>	2.0	1.0	<i>Erythraellidae</i>	3.0	2.0
<i>Leuctridae</i>	1.0	3.0	<i>Elmidae</i>	1.5	2.0	<i>Glossiphoniidae</i>	2.5	2.0
<i>Capniidae</i>	1.0	3.0	<i>Dryopidae</i>	2.5	1.0	<i>Piscicolidae</i>	2.5	2.0
КЛОПЫ			<i>Chrysomelidae</i>	3.0	1.0	ОЛИГОХЕТЫ		
<i>Nepidae</i>	2.5	2.0	<i>Elodidae</i>	2.0	1.0	<i>Naididae</i>	2.5	2.0
<i>Notonectidae</i>	3.0	2.0	ДУВКРЫЛЫЕ			<i>Tubificidae</i>	4.0	2.0
<i>Naucoridae</i>	3.0	3.0	<i>Simuliidae</i>	2.0	1.0			
<i>Aphelochetridae</i>	2.0	4.0	<i>Muscidae</i>	3.0	2.0			
<i>Pleidae</i>	2.5	3.0	<i>Athericidae</i>	2.0	3.0			
<i>Corixidae</i>	2.5	1.0						

Рис. 2. Список таксонов – индикаторов сапробности (скриншот из Чертопруд, 2002)

Взаимосвязь индекса Пареле с классами качества воды и зонами сапробности

Индекс Пареле D_1	Зона сапробности	Класс качества вод по С.М. Драчеву [1964]
0.01 – 0.16	Олигосапробная	Чистая
0.17 – 0.33	Олиго- β - мезосапробная	Условно чистая
0.34 – 0.50	β - мезосапробная	Слабо загрязненная
0.51 – 0.67	β - α - мезосапробная	Загрязненная
0.68 – 0.84	α - мезосапробная	Грязная
0.85 – 1.00	Полисапробная	Очень грязная

Рис. 3. Связь градаций олигохетного индекса с зонами сапробности и классами качества воды (скриншот из Шитиков и др., 2003)

Таблица 1. Сводные данные таксономического состава, обилия и встречаемости бентосной фауны реки Сендеги по станциям учета

Таксономический состав	Численность, экз.			Всего по строкам	Доля, %	Встреча емость	CV
	Станция-1	Станция-2	Станция-3				
Отр. Ручейники (Trichoptera)							
1. <i>Ecnomus tenellus</i> - Экномус нежный (сем. Ecnomidae)	61		8	69	69	40	202,6
2. <i>Molanna angustata</i> - щитконосец ущельный (сем. Щитконосцы - Molanniidae)			1	1	1		
3. <i>Cheumatopsyche lepida</i> - водопадница чешуйчатая (сем. Hydropsichidae)	2	9	1	12	12	46,7	165
4. <i>Notidobia ciliaris</i> - нотидобия реснитчатая (сем. Sericostomatidae)	19	2	2	23	23	40	277,4
5. <i>Micrasema sp.</i> - микроазема (сем. Brachycentridae)	9						
Отр. Веснянки (Plecoptera)							
6. <i>Siphonoperla burmeisteri</i> (сем. Веснянки салатовые - Chloroperlidae)	6			6	6	13,3	324,6
Отр. Поденки (Ephemeroptera)							
7. <i>Acentrella lapponica</i> - Поденка лапландская (сем. Двухвостые поденки)			1	1	1		
8. <i>Baetis sp.</i> (сем. двухвостые поденки - Baetidae)	13		1	14	14	33,3	204,4
9. <i>Heptagenia sp.</i> - поденка-семидневка (сем. Heptageniidae)	15	6		21	21	33,3	168,2
10. <i>Potamanthus luteus</i> - под. ярко-желтая (сем. под. речные - Potamanthidae)	2			2	2		
Стрекозы (Odonata)							
11. <i>Aeshna grandis</i> - Коромысло бол. (отр. Odonata)			2	2	2	13,3	
12. <i>Calopteryx sp.</i> - красотка (сем. Calopteriidae)	6		1	7	7	33,3	159,3
13. <i>Cordulia aenea</i> - Бабка зеленая (сем. Corduliidae)	3			3	3		
14. <i>Gomphus vulgatissimus</i> - Дедка обыкновеннейший (сем. Gomphidae)	1			1	1		
Отр. Чешуекрылые (Lepidoptera)							
15. <i>Paraponyx stratiotata</i> - Ширококрылая огневка (сем. Pyraustidae)	1		1	2	2		
Отр. Двукрылые (Diptera)							
16. <i>Chrysopilus auratus</i> - Бекасница златоволос (сем. Rhagionidae)	2		1	3	3	20	
17. <i>Clinotanypus sp.</i> - звонец уклончивый (сем. Chironomidae)	1	25	34	60	60	66,7	134,6
18. <i>Psectrocladius sp.</i> - звонец разветвленный (сем. Chironomidae)		21		21	21	26,7	192,4
Кл. Моллюски двустворчатые (Bivalvia)							
19. <i>Unio pictorum</i> - Перловица живописцев (сем. Unionidae)	7	1	8	16	16	46,7	143,8
20. <i>Anodonta cygnea</i> - Беззубка лебединая(сем. Unionoidea)	4		2	6	6	26,7	184,2

21. <i>Pisidium amnicum</i> - Горошинка речная (сем. Шаровок - Sphaeriidae)	20	24		44	44	60	127,2
22. <i>Sphaerium rivicola</i> - Шаровка речная (сем. Шаровок - Sphaeriidae)	14	23		37	37	66,7	112,5
Кл. Моллюски брюхоногие (Gastropoda)							
23. <i>Bithynia sp.</i> (сем. Битинии - Bithyniidae)		1	1	2	2	13,3	
24. <i>Valvata piscinalis</i> - Затворка (сем. Valvatiidae)	1	7	2	10	10	40	193,6
25. <i>Planorbarius corneus</i> - Катушка роговая (отр. Легочные - Pulmonata)		2	2	4	4	20	222,6
26. <i>Lymnaea truncatula</i> - Прудовик малый (отр. Легочные - Pulmonata)		2	2	4	4	20	
27. <i>Lymnaea auricularia</i> - Прудовик ушковый			1	1	1		
П/кл. Черви малощетинковые (Oligochaeta)							
28. <i>Eiseniella tetraegra</i> - Дождевой червь 4-гранный (сем. Lumbricidae)		9	39	48	48	46,7	133,2
29. <i>Tubifex tubifex</i> - Трубочник обыкновенный (сем. Naididae)	1	51	40	92	92	73,3	99,9
30. <i>Herpobdella octoculata</i> - Пиявка мал. ложн. (сем. Gnathobdellidae)	13	26	40	79	79	80	120,2
31. <i>Glossiphonia complanata</i> - Пиявка улитковая (сем. Glossiphoniidae)	1	3	1	5	5	33,3	
32. <i>Caspiobdella fadejewi</i> - Пиявка рыба (сем. Piscicolidae)	2			2	2		
Всего в столбцах:	видов	21	18	24			
	особей	169	212	226	607		