ЭКОСИСТЕМЫ: ЭКОЛОГИЯ И ДИНАМИКА, 2023, том 7, № 2, с. 137-175

ДИНАМИКА ЭКОСИСТЕМ И ИХ КОМПОНЕНТОВ

УДК 574.52(282.247.431.2)

СОСТОЯНИЕ ПЛАНКТОННЫХ И ДОННЫХ СООБЩЕСТВ РАВНИННОЙ РЕКИ УСА (БАССЕЙН СРЕДНЕЙ ВОЛГИ, КУЙБЫШЕВСКОЕ ВОДОХРАНИЛИЩЕ) В УСЛОВИЯХ КЛИМАТИЧЕСКИХ ИЗМЕНЕНИЙ

© 2023 г. Т.Д. Зинченко*, Э.В. Абросимова*, О.Г. Горохова*, Л.В. Головатюк*, Р.С., Кузнецова*, С.Э. Болотов**

**Институт экологии Волжского бассейна РАН*
Россия, 445003, Самарская обл., г. Тольятти, ул. Комзина, д. 10
E-mail: zinchenko.tdz@yandex.ru

***Институт биологии внутренних вод им. И.Д. Папанина РАН*
Россия, 152742, Ярославская обл., Некоузский р-н, п. Борок, д. 109. E-mail: ibiev@mail.ru

Поступила в редакцию 28.03.2023. После доработки 31.05.2023. Принята к публикации 01.06.2023.

Рассмотрены особенности пространственной и структурной изменчивости планктонных и донных сообществ на участках малой равнинной реки Уса (приток Куйбышевского водохранилища) на фоне комплексных исследований экологического состояния и качества воды в реке. По результатам исследований в 2017-2018 годов выявлен характер пространственного распределения видов сообществ фитопланктона, зоопланктона и макрозообентоса по продольному профилю реки с учетом гидрохимических показателей. Выполнен сравнительный анализ изменения видового богатства планктонных и донных сообществ, оценок экологического состояния участков реки с учетом пространственной изменчивости видового разнообразия и количественных характеристик. По результатам изменений численности и биомассы основных таксономических групп с использованием различных методологических подходов изучения динамики гидробиологических показателей была установлена их нестационарность и существование закономерных трендов в зависимости от гидрологических и гидрохимических факторов. Впервые дана оценка биоразнообразия альгоценозов летнего планктона р. Уса в зависимости от гидрологических условий, антропогенного влияния, изменения содержания биогенных веществ. Установлен 201 таксон альгофлоры рангом ниже рода из 7 отделов водорослей. Доминирующими являются Bacillariophyta (56%) и Chlorophyta (28%). В лимнопланктоне Усинского залива соотношение видов в составе отделов водорослей меняется в сторону возрастания доли зеленых водорослей – Chlorophyta (45%). Доля Cyanoprokaryota изменяется от 4% в реке до 12% в заливе.

Установлено, что пространственная динамика структуры альгоценозов в р. Уса характеризуется увеличением видового разнообразия, численности, биомассы, содержания хлорофилла-«а» от истока к устью. Корреляционный анализ выявил наличие достоверных связей ($P \leq 0.05$) между скоростью течения, концентрацией хлорофилла-«а», численностью, удельным числом видов и биомассой: $r = -0.65$, $r = -0.69$, $r = -0.82$ и $r = -0.79$ соответственно. По биомассе и концентрации хлорофилла-«а» трофическое состояние рек в верхнем и среднем течении является олиготрофным, в устьевых участках – олиго-мезотрофным, в Усинском заливе водные массы соответствуют мезотрофному типу. Основным загрязняющим веществом на всем протяжении является концентрация $P_{общ.}$ (7-18 ПДК), что сопровождается увеличением доли миксотрофных фитофлагеллят – индикаторов органического загрязнения. Возрастание численности и биомассы фитопланктона в 2017 году обусловлено высоким содержанием биогенных элементов N и P. Зоопланктон водной системы р. Уса включает 45 видов, из которых коловраток – 28, ветвистоусых – 13 и веслоногих ракообразных – 4. Состав зоопланктона типичен для водоемов Волжского бассейна, представлен фитофильными и планктобентосными коловратками, ветвистоусыми ракообразными рода *Alona*. Впервые в зоопланктоне устьевой зоны реки зарегистрирован вид-вселенец – коловратка *Kellicottia* *bostoniensis* (Rousselet), обитатель водоемов северных широт. Наибольшие величины обилия зоопланктона отмечены в глубоководном участке река–водохранилище, где численность и биомасса зоопланктона достигают 0.4 тыс. экз./м^3 и 5.4 г/м^3 с преобладанием *Daphnia galeata* Sars. Динамичность гидрофизических и гидрологических параметров определяет продольное распределение количественных и структурных показателей сообществ планктонных организмов по типу экоклина в условиях обитания в мезо-эвтрофных водных массах.

Установлена пространственная изменчивость планктонных и донных сообществ с учетом локальной биотопической изменчивости, определяемой особенностями геоморфологии ландшафта и закономерным трендом количественных показателей таксоценов биотических сообществ.

Оценка качества воды и экологического состояния водотока выполнена с использованием интегральных методов и метрик. Полученные результаты оценки качества воды р. Уса могут быть использованы в качестве эталонных для расчета мультиметрических показателей экологического состояния типологически сходных малых равнинных рек.

Ключевые слова: река Уса, малые реки, планктонные и донные сообщества, таксономическое разнообразие, абиотические факторы, пространственное распределение, экологическое состояние, качество воды.

DOI: 10.24412/2542-2006-2023-2-137-175

EDN: HGMMEE

Проблемы устойчивого социо-эколого-экономического развития страны в целом и отдельных её регионов в частности тесно связаны с решением вопросов охраны и реабилитации водных объектов – в первую очередь, как источников снабжения населения пресной водой. В этой связи исследованию малых рек бассейна Средней и Нижней Волги уделяется пристальное внимание (Биоиндикация …, 2007; Особенности …, 2011; Гидроэкология …, 2015; Крылов, 2005; Зинченко, Головатюк, 2010; Шитиков, Зинченко, 2011; Зинченко, Розенберг, 2012; 2021; Шитиков и др., 2021). Важность изучения рек состоит еще и в том, что они являются основой создания водохранилищ (разной размерности), которые коренным образом могут изменять климат и ландшафт, а значит, структуру и функционирование как водных, так и наземных экологических систем. Вместе с тем следует иметь в виду, что до настоящего времени комплексные оценки экологического состояния рек затруднены в связи с недостатком информации об экологических процессах, происходящих в разнотипных равнинных реках при антропогенном воздействии на них, динамичности гидрологических факторов и в связи с изменением природных климатических условий.

Несомненно, что система экологической оценки состояния водотоков нуждается в дальнейшем совершенствовании (Богатов, 1994; Богатов, Федоровский, 2017). Особенно это касается речных экосистем, характеризующихся протекающими в них сложными экологическими процессами, связанными с особенностями пространственной динамики биоты. Анализ закономерностей пространственного распределения сообществ гидробионтов относится к фундаментальным задачам экологии и гидробиологии (Алимов и др., 2013). Для лотических систем ведущая роль отводится проблеме гетерогенности видовой структуры биотических сообществ (Шитиков и др., 2005, 2010; Шитиков, Зинченко, 2011, 2013, 2014; Зинченко и др., 2017), где значительное влияние оказывают гидрологические, ландшафтно-геоморфологические и другие абиотические факторы воздействия. Исследование пространственной динамики биотических сообществ является необходимым этапом в изучении малых рек Волжского бассейна.

Целью статьи является обобщение комплексных исследований экологического состояния малой равнинной р. Уса, притока р. Волги в районе Куйбышевского водохранилища, выполненных в 2017-2018 гг., с акцентом на оценку состояния планктонных и донных сообществ.

Материалы и методы

Река Уса берёт начало на Волжско-Свияжском водоразделе недалеко от пос. Гремячий (координаты: 53° 26' 32.2" с.ш., 48° 09' 26.5" в.д.) и впадает в Усинский залив Куйбышевского водохранилища у северо-западной оконечности Жигулевских гор (рис. 1).

Район исследований. Длина реки – 76 км, с учетом Усинского залива – 143 км, водосборная площадь – 2240 км^2, максимальная глубина – 4 м, скорость течения – 0.4-0.7 м/с, прозрачность воды – от 40 до 60 см (табл. 1). Рельеф водосбора волнистый, местами пересечён крутыми и обрывистыми оврагами. Долина реки пойменная, шириной до 2.5-4 км. Склоны долины высотой 20-30 м, пологие, супесчаные, открытые. Русло реки умеренно извилистое, слабо деформирующееся. Среднемесячная температура воды в реке в вегетационный период колеблется от 2.8°C в мае до 4.8°C в октябре, с максимальной температурой в июле – 18.7°C. В 2017 году зарегистрированы климатические аномалии: раннее половодье, весеннее похолодание и высокая влажность (среди самых влажных лет эта весна занимает 5 место), обилие весенних осадков (выше нормы на 29 мм в мае). В среднем по области за месяц выпало 63 мм осадков или 185% от нормы. Май 2017 года вошел в двадцатку самых холодных лет с 1936 года (Доклад …, 2018).

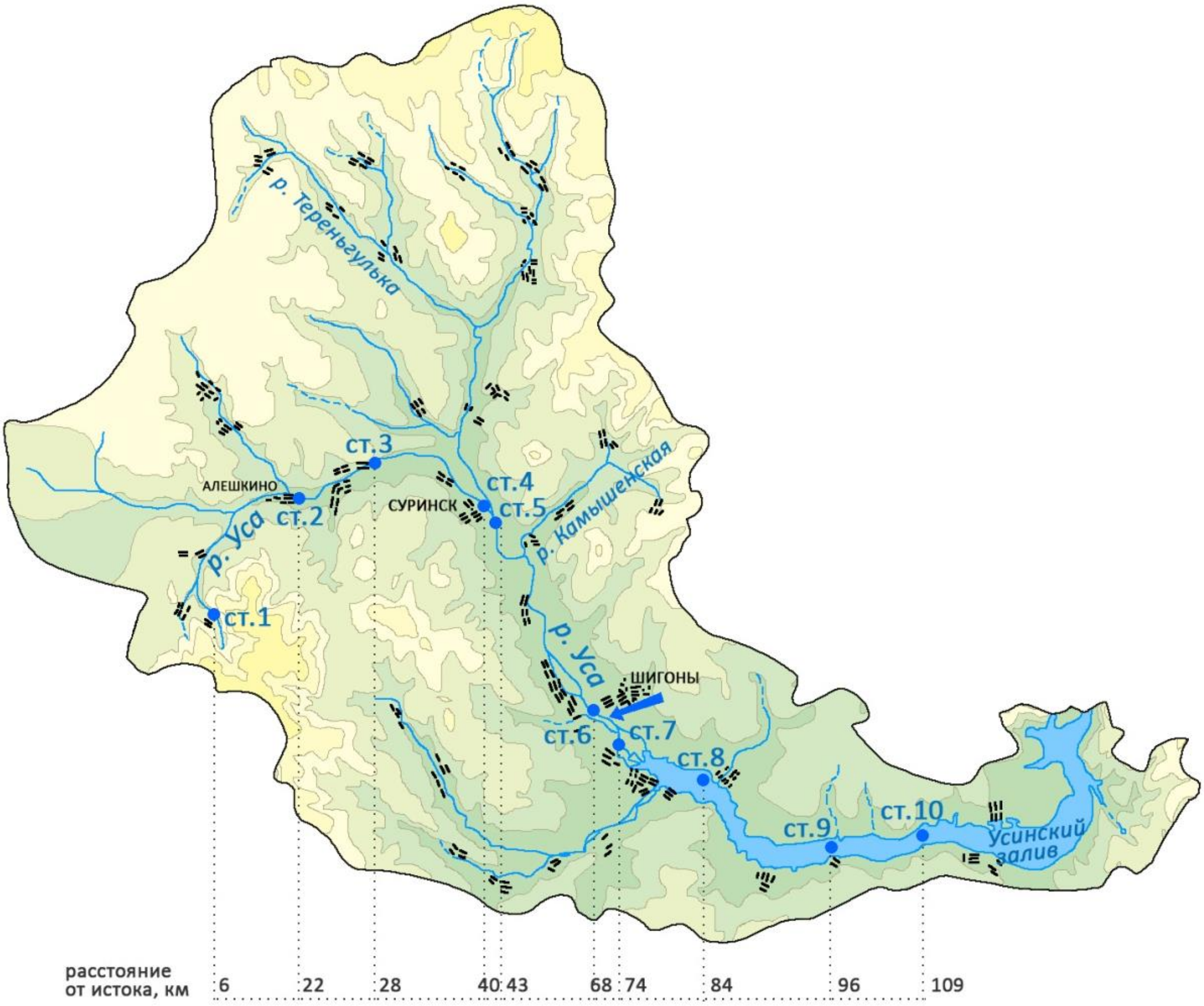


Рис. 1. Схема расположения станций отбора проб на р. Уса.
Fig. 1. Scheme showing the location of sampling stations along the Usa River.

Природно-географическая характеристика водоохранной зоны и краткая характеристика охраняемых природных территорий бассейна реки приводились нами ранее (Зинченко и др., 2019). Основные гидрографические и гидрологические данные реки и ее притоков даны в таблице 1. Отбор проб воды в 2017-2018 гг. (июнь-июль) для гидрохимического анализа осуществлялся с поверхностного горизонта на 10 станциях верхнего, среднего и нижнего течения реки (рис. 1) в летнюю межень.

Таблица 1. Гидрографические и гидрологические характеристики р. Уса.
Table 1. Hydrographic and hydrological characteristics of the Usa River.

Параметры	Значения
Географические координаты положения бассейна	Исток: 53° 24’ с.ш., 48° 12’ в.д. Устье: 53° 20’ с.ш., 48° 41’ в.д.
Средний уклон водосбора, ‰	23
Длина реки, включая Усинский залив, км	143
Длина реки до впадения в Усинский залив, км	76
Площадь водосборного бассейна, включая Усинский залив, км^2	3352
Средняя высота водосбора, м	184
Основные притоки (от устья), км:	
Муранка	18
Тишерек	38
Камышинская	26
Теренгулька	54
Кока	57
Борла	61
Максимальная глубина, м	3-4
Густота речной сети, км/км^2	0.13
Скорость течения, м/с	0.4-0.7
Общее падение, м	180
Средняя глубина на плесах, м	2-3
Средняя глубина на перекатах, м	0.1-0.5
Глубина в месте впадения в залив, м	1-2
Ширина реки, м:	
в верховье	0.9-2.5
в месте впадения в залив	20-50
в устьевой части	до 110
Среднегодовой расход воды, м^3/с	6.2
Коэффициент извилистости реки	1.3
Средний уклон реки, ‰	3.6

В режиме р. Усы прослеживаются все фазы годового цикла: половодье, паводки, летняя и зимняя межени. До 80% годового стока реки приходятся на половодье, которое наблюдается в середине апреля – мае. В этот период расходы воды возрастают более чем в 20 раз, а уровень воды повышается в 1.5 раза (гидропост – с. Байдеряково, в 23 км от устья, места впадения реки в Усинский залив).

Сбор и обработка альгологических проб и определение содержания хлорофилла-«а» в воде проведены в соответствии с методами, принятыми при гидробиологических исследованиях (SCOR-UNESCO, 1966; Методика изучения …, 1975; Методические рекомендации ..., 1984б). Мониторинговые исследования проводились в верхнем, среднем и нижнем течении реки (июнь, июль 2017-2018 гг.) и в Усинском заливе.

Для характеристики альгоценозов использовали следующие показатели: численность (млн. кл./л), биомасса (мг/л), удельное видовое богатство (число видов в пробе), концентрация хлорофилла-«а» в сестоне (мкг/л). К массовым видам (субдоминантам и доминантам) отнесены виды, формирующие 5-10% и более 10% суммарной численности или биомассы фитопланктона. Степень сходства видового состава оценена по коэффициенту Сёренсена. Кластеризация данных для построения дендрограмм в программе Statistica проведена путем сравнения полных списков видов, а для выявления особенностей локальных альгофлор – путем сравнением состава массовых форм участков рек. Оценка связи показателей фитопланктона с абиотическими параметрами проведена с помощью коэффициента ранговой корреляции Спирмена. Отбор проб фитопланктона и их обработка велись по стандартным методам исследований (Методика изучения …, 1975; Karlson et al., 2010) с использованием микроскопа Leica DM-4000-B.

Камеральная обработка проб зоопланктона выполнена по стандартной методике (Методика изучения …, 1975). Основные исследования р. Уса и ее притоков выполнены в июне-июле 2017 и 2018 гг. Они включали подробное изучение структуры водных масс и зоопланктона на 10 станциях с акцентом на исследование устьевой зоны реки и ее малых притоков: рр. Теренгулька, Муранка и Тишерек. Отбор проб зоопланктона производили путем процеживания 100 л воды через количественную сеть Джеди. В нижнем течении отбирали пробы воды батометром (V = 2.5 л) объемом 10 л в столбе воды от поверхности до дна. Содержимое батометра процеживали через капроновую сеть из газа № 64 (с размером ячеи 0.076 мм) и фиксировали 4% раствором формальдегида. Камеральную обработку проб зоопланктона проводили по стандартной методике (Методика изучения …, 1975). Параллельно с отбором проб измеряли портативным зондом YSI-85 электропроводность (Ec, мкСм/см) и температуру (t, °C) воды. Зоопланктон оценивали по видовому богатству, удельному разнообразию, численности, биомассе, рациону мирных и хищных беспозвоночных и продукции (Методические рекомендации …, 1982; Определение продукции популяций …, 2000).

Отбор проб макрозообентоса проводили в июне-июле 2017-2018 гг. на станциях верхнего, среднего и нижнего участков р. Уса. Количественные пробы макрозообентоса отбирали дночерпателями Экмана-Берджи (0.04 м^2, по 2 подъема на станции) и ДАК100 (0.01м^2, по 2 подъема на станции). При количественном учете в состав «мягкого» бентоса включены мелкие моллюски (до <1 см) без учета крупных унионид, вивипарид и дрейссенид. Отбор проб в ритрали осуществляли гидробиологическим скребком (длина ножа – 20 см, протягивание скребка – 0.5 м, размер ячеи – 0.23 мм) и штанговым дночерпателем (1/400 м^2 по 2-8 подъемов, в зависимости от типа грунта). Грунт промывали через капроновое сито с размером ячеи 300-333 мкм. Отбор проб макрозообентоса в Усинском заливе осуществляли драгой (длина ножа – 40 см, протягивание драги – 5 м). Камеральная и статистическая обработка образцов зообентоса проводилась согласно существующим методикам (Методика изучения …, 1975; Методические рекомендации …, 1984а, б; Руководство по гидробиологическому …, 1992; Зинченко, 2011; Зинченко и др., 2000) в лаборатории экологии малых рек Институт экологии Волжского бассейна РАН.

В р. Уса выделены верхний (ст. 1-4), средний (ст. 5-6), нижний участки (ст. 7-8) и станции в зоне смешения речных вод и Куйбышевского водохранилища (ст. 8-10; рис. 1).

Оценку качества воды и экологического состояния реки выполняли с использованием биотических и интегральных индексов: EPT Index, биотический индекс р. Трент (Trent Biotic Index, TBI; Woodiwiss, 1964), индекс рабочей группы биологического мониторинга (Biological Monitoring Working Party Index, BMWP), индекс средних значений таксонов (Average Score Per Taxon Index), интегральный индекс экологического состояния вод (ИИЭС; Зинченко и др., 2010), индекс видового разнообразия Шеннона (*H*n). Использованный нами для расчетов индекс EPT основан на соотношении наиболее чувствительных к загрязнению представителей отрядов Ephemeroptera, Trichoptera и Plecoptera. Для расчета индекса на каждой станции отбора проб подсчитывали таксоны поденок, ручейников и веснянок, суммируя число видов из указанных отрядов. Биотический индекс р. Трент (Woodiwiss, 1964) основан на соотношении количества видов устойчивых и неустойчивых к загрязнению. При увеличении степени загрязнения рек из состава донной фауны в определенной последовательности выпадают наиболее уязвимые группы гидробинтов: веснянки → поденки → ручейники → ракообразные. Индекс рабочей группы биологического мониторинга основан на балльной оценке подсемейств донных беспозвоночных, аоэтому этот показатель имеет 5 градаций качества вод (Leeds-Harrison et al., 1996). Индекс Гуднайта и Уитли (G/WI) характеризует состояние водных экосистем по соотношению численности олигохет к общей численности гидробионтов зообентоса (Barbour et al., 1995), имеет 3 градации качества вод и достаточно информативен для оценки качества вод малых рек бассейна Средней и Нижней Волги (Головатюк, Зинченко, 2020).

Исследование экологического состояния р. Уса и ее притоков проведено с использованием разных методологических подходов, изложенных и подробно описанных в наших предыдущих работах (Зинченко и др., 2019; Головатюк, Зинченко, 2020).

Результаты исследований

Гидрохимический фон реки формируется главным образом за счет привноса химических веществ с притоками, поверхностным стоком и выщелачиванием выстилающих речную долину осадочных пород. На фоновые показатели оказывают влияния последствия хозяйственной деятельности на водосборе. Накапливающиеся на водосборной площади биогенные элементы, сносятся поверхностным стоком в реку, усиливая процессы естественного эвтрофирования водотока. Точечные источники загрязнения прибрежной зоны (многочисленные базы отдыха, сельскохозяйственные поля) способствуют в определенной степени загрязнению водных масс и донных отложений биогенными и органическими веществами.

Антропогенная нагрузка

По неоднородности качества воды и по типу антропогенного воздействия на р. Уса выделяются три участка:

- участок *верхнего течения* реки – от истока реки до впадения р. Кока в районе с. Елшанка, слабо подверженный антропогенному воздействию;
- участок *среднего течения* реки – ниже с. Елшанка до впадения р. Тереньгулька, испытывающий воздействие сточных вод от коммунальных хозяйств с. Белогорское и ПГТ Теренгулька;
- участок *нижнего течения* – ниже впадения р. Теренгулька до устья реки, находящийся под влиянием вод стекающих с расположенных выше участков реки и водных масс Усинского залива.

Река Уса относится к равнинным рекам, испытывающим на отдельных участках локальную антропогенную нагрузку. Основными источниками поступления загрязняющих веществ в водоток являются сбросы коммунально-бытовых сточных вод и поверхностный сток с площадей, занятых сельскохозяйственной деятельностью и с водосборной площади реки (населенные пункты, лагеря, турбазы и др.; табл. 2-4).

Таблица 2. Сброс сточных вод в р. Уса за 2017 г. **Table 2.** Wastewater discharge in the Usa River in 2017.

Вид сточных вод	Объем сброса, тыс. $м^3$/год
Всего	176.24
Загрязненные	159.44
Нормативно очищенные	16.8

Примечание к таблицам 2-4: данные госстатотчетности предприятий даны по форме 2ТП (водхоз). **Note to Table 2-4:** data of state enterprise statistical reports are provided according to 2ТП (vodkhoz).

Таблица 3. Предприятия, сбрасывавшие сточные воды в р. Уса в 2017 г. **Table 3.** Enterprises that discharged wastewater into the Usa River in 2017.

Предприятие	Расстояние от устья, км	Год	Объем сточных вод, тыс. $м^3$
Верхний участок реки			
Сбрасывающих предприятий нет	57	2017	–
Средний участок реки			
Белогорское коммунальное хозяйство	63	2017	16.8
Теренгульское коммунальное хозяйство	58	2017	142.9
Нижний участок реки			
Управляющая компания жилищно-коммунального хозяйства Шигоны	9	2017	16.54

Таблица 4. Загрязняющие вещества, сбрасываемые со сточными водами в р. Уса за 2017 г. **Table 4.** Wastewater pollutants discharged into the Usa Rive in 2017.

Загрязняющие вещества	Масса загрязняющего вещества в сточных водах, тонн
Сухой остаток	4.23
Сульфат-анион (сульфаты) (SO_4)	0.73
Хлориды (Cl^-)	0.23
Нитрат-анион (NO^{-3})	0.20
Взвешенные вещества	0.13
БПК полный	0.05
Азот аммонийный	0.00
Всего	**5.57**

Химический состав воды и донных отложений

В связи с тем что водные ресурсы р. Уса одновременно используются в различных целях (рекреационных, рыбохозяйственных, хозяйственно-бытовых), для определения состояния водных масс реки, согласно постановлению Росгидромета № 140-287 от 22.02.96, были взяты наиболее жесткие нормативы ПДК, характерные для водных объектов рыбохозяйственного назначения. Из общесанитарных показателей состояния р. Уса определялись прозрачность воды, водородный показатель (pH), содержание растворенного кислорода и биохимическое потребление кислорода.

Прозрачность воды имеет определенную направленность: от истока к устьевому участку идет нарастание величины прозрачности от 0.3 м (верховье) до 1.3 м (Усинский залив). Малые глубины (0.3-0.5 м) в верхнем течении реки, способствующие взмучиванию грунтов и поступлению взвешенных веществ в воду, приводят к снижению прозрачности на этом участке.

Водородный показатель (ед. pH). По концентрации водородных ионов вода р. Уса в верхнем течении имеет нейтральную (6.71-7.46), а в среднем и нижнем – слабощелочную реакцию (7.90-8.22). Изменчивость pH по длине реки невелика, коэффициент вариации равен 5%. Средние значения pH воды в верхнем течении – 7.08, в среднем – 8.12, в нижнем – 7.90 (рис. 2).

Кислородный режим реки благоприятен для существования и развития гидробионтов; концентрация кислорода за период исследований не снижалась ниже нормативных показателей и находилась в диапазоне 7.7-7.9 мг/дм^3, что соответствует 75-83% насыщения. Определенного тренда в изменении содержания растворенного кислорода по длине реки не выявлено; характер его изменчивости неустойчив, с относительно невысокой степенью вариабельности.

Биохимическое потребление кислорода. Содержание лабильной фракции органического вещества (БПК$_5$) не превышает установленные для природных вод рыбохозяйственного назначения нормативы. По концентрации БПК$_5$ вода в реке на всем протяжении характеризуется как «чистая» (по классификации А.Д. Семеновой с соавторами (1977)).

Общая минерализация воды в целом для реки не превышает значений рыбохозяйственного ПДК и находится в диапазоне 90-535 мг/дм^3. Наибольшие значения минерализации (491-535 мг/дм^3) характерны для среднего и нижнего течений реки, минимальные (90-401 мг/дм^3) – для верхнего участка. По соотношению главных ионов вода реки на всех участках относится к гидрокарбонатному классу, группе кальция (Алекин, 1970) (табл. 5). Изменения в соотношении ионного состава и общей минерализации воды связаны с химическим составом осадочных пород речного бассейна и влиянием точечных источников загрязнения. Соответственно росту минерализации изменяется жесткость воды: в истоке реки вода характеризуется как очень мягкая (1.1-1.2 мг-экв./дм^3), на верхнем, среднем и нижнем участках – как умеренно жесткая (4.5-5.5 мг-экв./дм^3).

Таблица 5. Макрокомпонентный состав воды р. Уса. **Table 5.** Macro-component composition of the Usa River water.

Участок реки	Компонент, мг/л						Сумма ионов
	Ca^{2+}	Mg^{2+}	Na^{+}+K^{+}	Cl^{-}	SO_4^{2-}	HCO_3^{-}	
Верхний	20.0	2.4	0.6	7.0	15.0	45.0	90.0
Средний	85.6	10.6	29.6	17.0	36.0	235.7	414.5
Нижний	77.0	43.7	23.0	32.7	98.2	175.3	449.9

Биогенные элементы. В азотной группе содержание нитратного азота на всех участках реки в несколько раз ниже ПДК. Концентрации аммонийного азота находятся в пределах от 0.039 до 0.37 мг/дм^3, что соответствует 0.1-0.9 ПДК, соответственно. Диапазон нитритной формы азота 0.02-0.066 мг/дм^3 (1-3.3 ПДК). Превышение концентрации $N\text{-}NO_2$ отмечается на протяжении всей реки (табл. 6). Содержание фосфатов в воде реки в верхнем течении превышает ПДК в 8-18 раз, в среднем участке – в 1.4-13 раз, в нижнем – в 8-9 раз; преобладающие концентрации 1.68-2.57 мг/дм^3 (рис. 2). Значительное превышение нормативного показателя содержания $P\text{-}PO_4$ в воде объясняется поступлением обогащенных фосфатами вод с поверхности водосборного бассейна, что отмечено нами как в 2017 г., так и в 2018 гг. и характерно участку реки ниже с. Шигоны. В целом, по содержанию фосфатов в воде, р. Уса относится к водотокам эвтрофного типа.

Концентрации общего железа на всем протяжении реки были выше ПДК; диапазон изменений лежит в пределах – от 1.1 до 7.6 ПДК (0.11-0.76 мг/дм^3; рис. 2). Максимальное превышение ПДК (7.6 мг/дм^3) характерно для верхнего течения реки.

Среди специфических органических соединений исследовались нефтепродукты (НПР) и фенолы. Содержание нефтепродуктов на всем протяжении реки было ниже ПДК. В верхнем и нижнем участках водотока концентрации НПР в среднем составляют 0.03 мг/дм^3 (0.6 ПДК), в среднем участке реки – 0.033 мг/дм^3 (0.7 ПДК; рис. 2).

Фенольные соединения на всем протяжении р. Уса превышают ПДК в 1.9 раза; их концентрация на каждом из участков составила 0.0019 мг/дм^3 (табл. 6).

Основными токсикантами неорганического происхождения в воде реки, встречающиеся в концентрациях, превышающих ПДК, являются марганец и медь (табл. 6; рис. 2). Высокий уровень токсического загрязнения реки марганцем зафиксирован локально, в истоке, где его содержание достигало 7 ПДК; на остальных участках концентрации марганца составили 0.8 ПДК. Превышение концентраций меди на уровне 2.0-2.6 ПДК зарегистрировано на всех обследованных участках реки. Превышения концентраций цинка, свинца, никеля и кадмия в воде реки не зарегистрировано.

Качество воды в р. Уса, оцениваемое по значению удельного комбинаторного индекса загрязненности воды (УКИЗВ) на основе комплекса контролируемых показателей, превышающих ПДК, в верхнем и нижнем течении соответствует IV классу, разряду «а» – «грязная», в среднем – III классу, разряду «б» – «очень загрязненная» (табл. 7, рис. 3).

К приоритетным загрязняющим веществам в воде на всем протяжении р. Уса, превышающим в разной степени нормативные показатели, относятся: медь, железо, нитритная форма азота, фосфаты, фенолы (табл. 7). В воде истока реки зарегистрировано превышение нормативных показателей марганца. Критическими показателями загрязненности воды (КПЗ) в верхнем и нижнем течении являются фосфаты и железо, в среднем течении реки – фосфаты.

Основными загрязняющими веществами являются железо и фосфаты. Приоритетными загрязняющими веществами, максимально превышающими ПДК, являются на разных участках реки нитриты, фосфаты, медь, марганец, железо, фенолы. Максимальные величины ПДК характерны для фосфатов (18 ПДК), железа (7.6 ПДК), марганца (7 ПДК). Концентрации большинства из исследованных химических ингредиентов ниже ПДК или не превышают нормативные показатели более чем в 1.3-2.6 раза.

Водные массы реки имеют широкий диапазон минерализации – от 90 до 535 мг/дм^3. Наибольшие значения (535 мг/дм^3) характерны для среднего течения; вода в верхнем течении и в Усинском заливе менее минерализована (90-415 мг/дм^3) по сравнению со средним участком и зонами смешения река–притоки. По соотношению главных ионов вода реки на всем протяжении относится к гидрокарбонатному классу, группе кальция. Соответственно росту минерализации изменяется и жесткость воды: в верхнем участке вода характеризуется как очень мягкая, в среднем и нижнем – как умеренно жесткая.

Таблица 6. Состояние загрязнения воды в р. Уса. **Table 6.** The state of water pollution in the Usa River.

№ п/п	Наименование загрязняющих веществ и показателей загрязнения	Участок реки	Содержание за период наблюдений (в ПДК р/х)		
			Пределы колебаний		Среднее значение
			min	max	
1	Марганец	верхний	0.8	7.0	3.9
		средний	0.8	0.8	0.8
		нижний	0.8	0.8	0.8
2	Медь	верхний	0.5	2.6	1.6
		средний	2.0	2.6	2.3
		нижний	2.1	2.2	2.2
3	БПК$_5$	верхний	0.5	0.6	0.6
		средний	0.5	0.6	0.6
		нижний	0.5	0.6	0.6
4	Азот нитритный	верхний	ПДК	2.6	1.8
		средний	1.2	3.3	2.3
		нижний	1.8	1.9	1.9
5	Цинк	верхний	0.5	0.9	0.7
		средний	0.6	0.7	0.7
		нижний	0.6	0.8	0.7
6	Фенолы	верхний	1.9	1.9	1.9
		средний	1.9	1.9	1.9
		нижний	1.9	1.9	1.9
7	Железо	верхний	1.1	7.6	4.4
		средний	1.2	4.8	3.0
		нижний	4.4	4.8	4.6
8	Нефтепродукты	верхний	0.5	0.7	0.6
		средний	0.6	0.8	0.7
		нижний	0.5	0.7	0.6
9	Азот аммонийный	верхний	0.1	0.9	0.5
		средний	0.1	0.2	0.2
		нижний	0.1	0.3	0.2
10	Фосфаты	верхний	8.0	18.0	13.0
		средний	1.4	13.0	7.2
		нижний	8.0	9.0	8.5
11	Растворенный кислород мг/л	верхний	7.7	7.9	7.8
		средний	7.6	7.8	7.7
		нижний	7.5	7.8	7.7
12	Хлорорганические пестициды	верхний	н/о	н/о	н/о
		средний	н/о	н/о	н/о
		нижний	н/о	н/о	н/о

Примечания к таблице 6: аналитическая обработка гидрохимических образцов воды произведена аккредитованной гидрохимической лабораторией ООО «Центр мониторинга водной и геологической среды» г. Самара. **Notes to Table 6:** Analytical processing of hydrochemical samples was carried out by an accredited hydrochemical laboratory Center for Monitoring the Aquatic and Geological Environment, Samara.

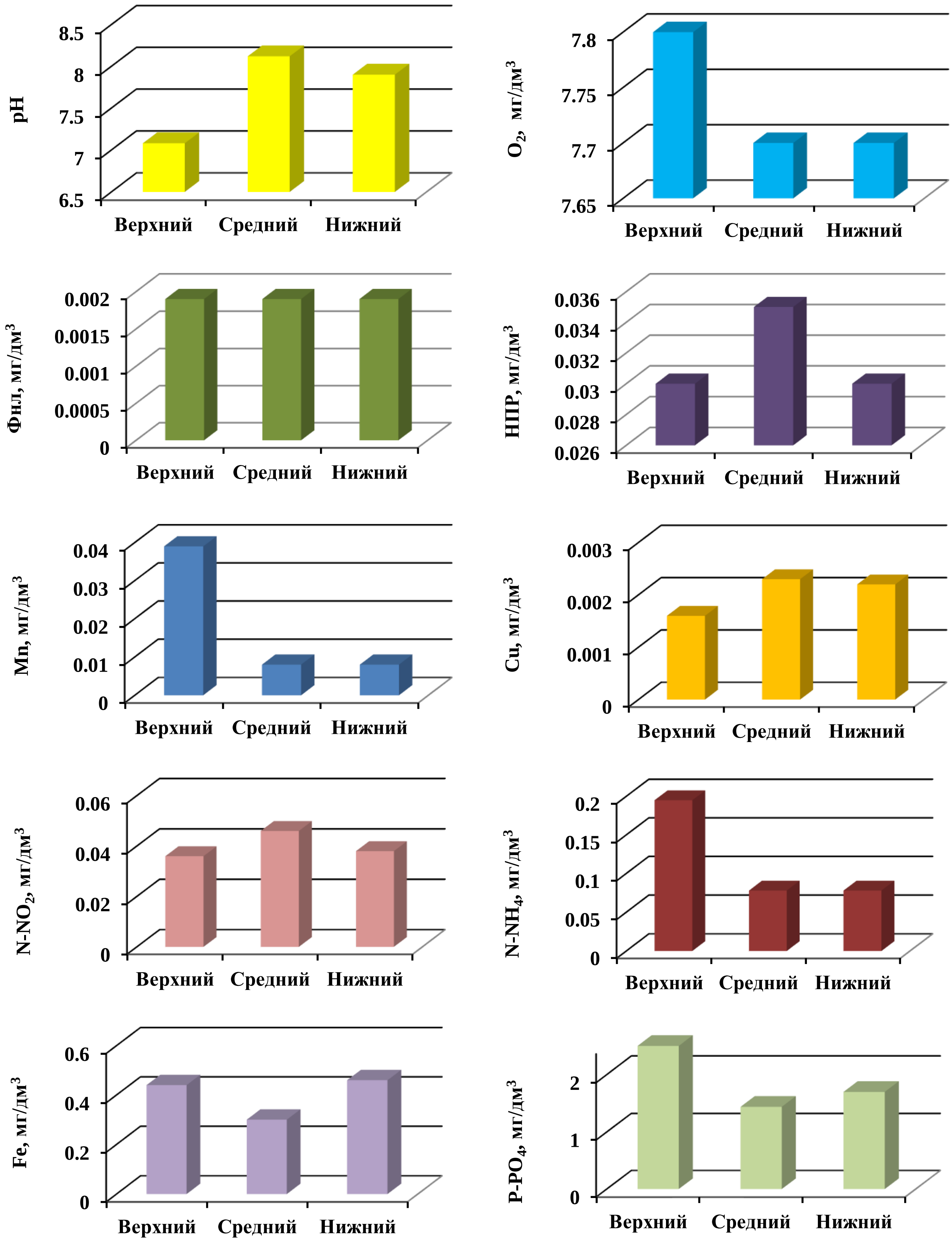


Рис. 2. Изменение концентраций химических элементов в воде на разных участках р. Уса в 2017-2018 гг. **Fig. 2.** Changes in chemical concentrations at different sites of the Usa River in 2017-2018.

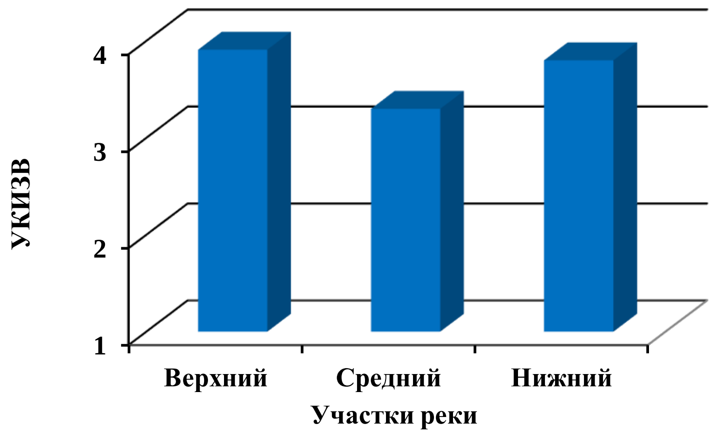


Рис. 3. Изменение величины индекса загрязнения воды (УКИЗВ) на участках р. Уса.
Fig. 3. Change in the value of the water pollution index in the Usa River.

Таблица 7. Характеристика качества воды р. Уса по химическим показателям.
Table 7. Characteristics of the water quality of the Usa River according to chemical indices.

Показатели качества	**Участки**		
	Верхний	**Средний**	**Нижний**
УКИЗВ	3.91	3.30	3.80
Класс, разряд	IV, «а»	III, «б»	IV, «а»
Характеристика качества воды	грязная	очень загрязненная	грязная
Приоритетные загрязняющие вещества, максимально превышающие ПДК	Cu (2.6), Fe (7.6), Mn (7.0), фосфаты (18.0), $N\text{-}NO_2$ (1.3), фенолы (1.9)	Cu (2.6), Fe (4.8), фосфаты (13.0), $N\text{-}NO_2$ (3.3), фенолы (1.9)	Cu (2.2), Fe (4.8), фосфаты (9.0), $N\text{-}NO_2$ (1.9), фенолы (1.9)

Примечание к таблице 7: в скобках дано превышение ПДК. **Note to Table 7:** excess of MPC is given in the brackets.

Содержание растворенного кислорода на всем протяжении реки было удовлетворительным. Степень насыщение воды кислородом находилась в пределах 75-83% насыщения.

К биогенным элементам, определяющим уровень продуктивности реки, и присутствующих в концентрациях, превышающих ПДК, относятся: минеральный фосфор (до 18 ПДК), нитритный азот (максимум 3.3 ПДК). Содержание нитратного азота в несколько раз или на порядок ниже ПДК.

По уровню концентрации фосфатов р. Уса относится к эвтрофному типу природных водотоков.

Обобщенное экологическое состояние водных масс р. Уса по величинам концентрации приоритетных загрязняющих веществ (фосфаты), согласно критериям (Критерии оценки …, 1992), относится к следующим категориям: в верхнем течении – «экологическое бедствие», в среднем и нижнем течении – «чрезвычайная экологическая ситуация» (табл. 7).

По накоплению микроэлементов, согласно коэффициенту донной аккумуляции (КДА – отношение величины концентрации вещества в грунтах к его содержанию в воде), состояние донных отложений изменяется от «относительно удовлетворительной экологической ситуации» до «чрезвычайной экологической ситуации» (табл. 8).

Величина КДА для меди и цинка находится в пределах $1.8 \cdot 10^3$ - $6.5 \cdot 10^3$ и $1.4 \cdot 10^3$ - $4.5 \cdot 10^3$, соответственно, что свидетельствует об «относительно удовлетворительной экологической ситуации» в грунтах по этим химическим показателям. По величине накопления железа ($4.4 \cdot 10^4$ - $7.9 \cdot 10^4$) состояние осадков относится к классу «чрезвычайной экологической ситуации».

Таким образом, состояние экосистемы реки определяется особенностями водосборной площади, масштабом хозяйственного, бытового и сельскохозяйственного использования. Основными загрязняющими веществами на всем протяжении реки являются фосфаты и нитраты, что обусловлено смывом удобрений с водосборной площади в реку (табл. 1).

Таблица 8. Содержание загрязняющих веществ в донных отложениях р. Уса.
Table 8. Pollutants presence in the bottom sediments of the Usa River.

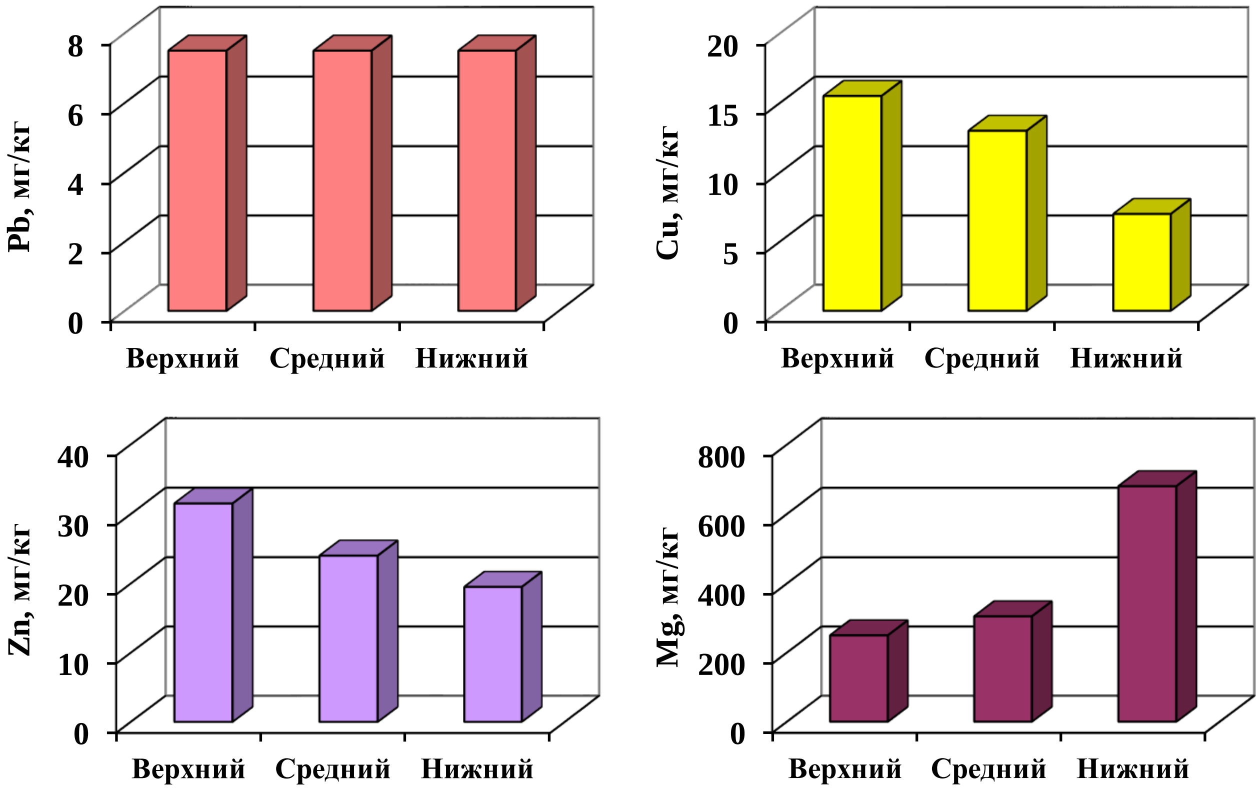
№ п/п	Загрязняющее вещество	Содержание, мг/кг	
		Диапазон колебаний	Среднее
1	Свинец	7.4	7.4
2	Железо	9500-14000	11960
3	Марганец	245-630	402
4	Медь	6.8-14.0	11.2
5	Цинк	11.5-29.3	23

Водные сообщества. Фитопланктон. Разнообразие и структура альгоценозов

Гидробиологическое состояние р. Уса включает данные анализа распределения структурных характеристик планктонных и донных сообществ, по которым можно оценить закономерность изменения экологических параметров водных масс, качество воды и степень загрязнения водоема. По результатам изменений численности и биомассы основных таксономических групп, используя разные методологические подходы оценки динамики гидробиологических показателей, выявляется их нестационарность и зависимость от гидрологических и гидрохимических факторов при комплексной оценке экологического состояния реки.

В фитопланктоне р. Уса зарегистрирован 201 таксон рангом ниже рода из 7 отделов водорослей (табл. 9). По числу видов в реопланктоне р.Уса преобладают Bacillariophyta (56% состава) и Chlorophyta (28%), а в лимнопланктоне Усинского залива соотношение ведущих отделов в альгофлоре изменяется за счет увеличения числа видов зеленых водорослей – Chlorophyta (45%), Bacillariophyta (24%). Доля Cyanoprokaryota изменяется от 4% в р. Уса до 12% в Усинском заливе.

В эколого-географическом отношении фитопланктон состоит из широко распространенных пресноводных форм, предпочитающих нейтральные и слабощелочные воды. К планктонным относится более 50% видов; значимую роль в альгофлоре реки играют обитатели бентоса и обрастаний (22 и 10% таксонов). В составе индикаторов органического загрязнения преобладают β-мезосапробы (45%), массовыми из которых являются диатомовые *Fragilaria capucina* Desmaz., *Melosira varians* Ag., *Navicula tripunctata* (O.F.M.) Bory и зеленые водоросли *Monoraphidium irregulare* (G.M. Smith) Kom.-Legn.



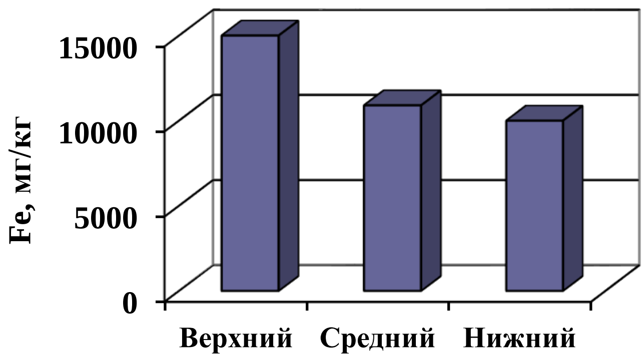


Рис. 4. Содержание свинца, меди, цинка, марганца и железа в грунтах р. Уса**. Fig. 4.** Content of lead, copper, zinc, manganese and iron in the soils of the Usa River.

Для р. Уса, нижнее течение которой представляет собой участок подпора водами Куйбышевского водохранилища, структурные показатели развития альгоценозов варьируют (табл. 10; рис. 5, 6), что связано с динамичностью гидрологических условий (глубиной, скоростью течения, прозрачностью), а также с биотопической неоднородностью водных масс (наличие устьевых участков в притоках, зоны экотона на участке река–залив).

Установлено увеличение видового разнообразия фитопланктона, численности, биомассы, концентрации хлорофилла-«а» от истока к устью реки. Характерной особенностью является выраженное увеличение количественных (численность, биомасса) и продукционных (содержание хлорофилла-«а») показателей, а также изменение структуры альгофлоры на участках смешения и трансформации водных масс в притоках на границе с рекой (рр. Муранка, Тишерек) и в самой реке в месте её подпора водами Куйбышевского водохранилища – Усинский залив (рис. 6-7).

Особенностью развития фитопланктона в р. Уса является лидирующее развитие *диатомовых водорослей*, состав которых отличается на различных участках реки.

В верхнем и среднем течении реки развитие фитопланктона зависит прежде всего от светового режима. Значительная мутность воды при высоких скоростях течения и низкая освещенность русла под пологом леса приводят к тому, что, несмотря на высокое содержание биогенов, фитопланктон не сформирован или состоит из единичных и случайных форм (в основном Bacillariophyta), вынесенных из обрастаний и бентоса. Численность и биомасса водорослей, а также содержание хлорофилла-«а» в воде низкие. В тоже время, на песчаных и каменистых грунтах могут быть обильно развиты нитчатые формы из родов *Cladophora, Monostroma* (*Chlorophyta*), *Vaucheria* (*Xanthophyta*). На них развиваются диатомовые обрастания разнообразного состава (Cocconeis, Gomphonema, Cymbella).

На участках среднего течения, в запрудах, а также на открытых местах, создаются условия повышенной освещенности и прозрачности. В таких биотопах наблюдается увеличении видового разнообразия. Развиты нитчатые формы водорослей в обрастаниях на субстрате. По величине биомассы фитопланктона состояние реки изменяется от олиготрофного на верхнем и среднем ее участках до мезотрофного. Ниже приводятся данные по структуре альгофлоры (табл. 9, 10).

Таблица 9. Таксономический состав фитопланктона р. Уса в 2017-2018 гг.
Table 9. Taxonomic composition of phytoplankton of the Usa River in 2017-2018.

Отделы	**Число видов и внутривидовых таксонов**
Bacillariophyta	85
Chlorophyta	70
Cyanoprokaryota	17
Euglenophyta	12
Dinophyta	9
Cryptophyta	6
Chrysophyta	2
Всего	**201**

Величины индексов сапробности на всех станциях находились в пределах 1.19-2.46. В верхнем течении воды реки Уса по фитопланктону относятся к олигосапробным, «чистые воды». В среднем течении и в Усинском заливе, экологическое состояние водных масс характеризуется как «удовлетворительное» и «относительно удовлетворительное». По сапробности вода этих участков относится к β-мезосапробным, умеренно загрязненным, III класса качества. Это может свидетельствовать о процессах увеличения загрязнения реки органическими веществами и снижения самоочистительной способности реки в Усинском заливе.

Уровень биомассы и содержание хлорофилла-«а» в р. Уса и её притоках, в основном соответствуют олиго- мезотрофному состоянию водных масс. В летнем планктоне Усинского залива по данным 2017-2018 гг. биомасса и содержание хлорофилла-«а» значительно превосходят величины, характерные для реки и находятся в пределах эвтрофных значений.

Таблица 10. Основные структурные характеристики фитопланктона р. Уса в 2017-2018 гг.
Table 10. Main structural characteristics of phytoplankton of the Usa River in 2017-2018.

№	Показатели	Участки реки		
		Верхний	Средний	Нижний
1	Численность, млн. кл/л	0.02-0.48	0.47-0.83	6.10-14.84
2	Биомасса, мг/л	0.01-0.98	1.41-1.49	1.98-5.93
3	Индекс видового разнообразия Шеннона по численности	0.46-2.39	2.09-2.22	1.84-2.36
4	Индекс видового разнообразия Шеннона по биомассе	0.39-2.11	1.49-2.32	1.35-2.18
5	Индекс сапробности по численности	1.19-1.27	1.24-2.05	2.01-2.46
6	Индекс сапробности по биомассе	1.16-1.44	1.33-2.35	1.88-2.52
7	Зона сапробности	Олиго-сапробная	Олиго-β-мезосапробная	β-мезо-сапробная
8	Класс качества воды (по сапробности)	II – «чистая»	II-III – «чистая, умеренно загрязненная»	III – умеренно загрязненная
9	Экологическое состояние	Хорошее	Хорошее – удовлетворительное	Относительно удовлетвори-тельное

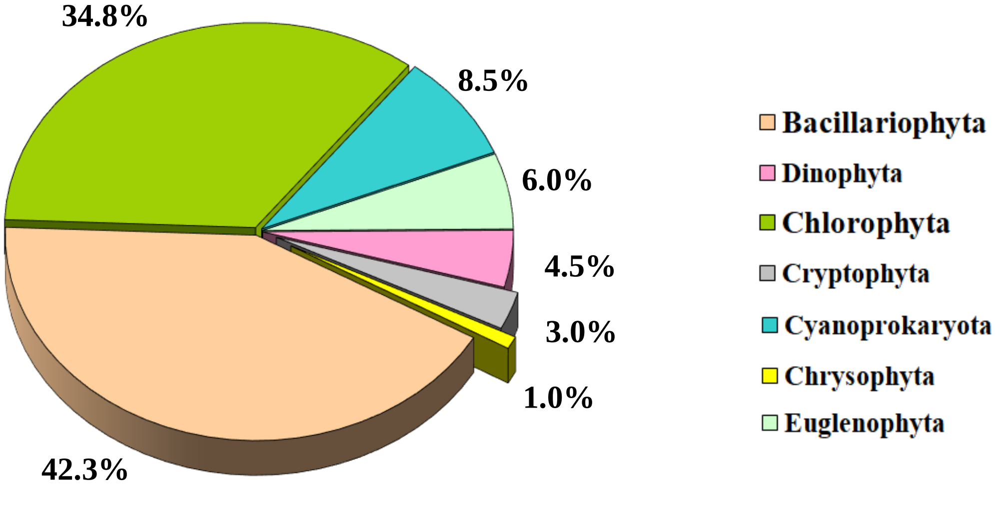


Рис. 5. Состав альгофлоры планктона р. Уса.
Fig. 5. Composition of plankton algoflora in the Usa River.

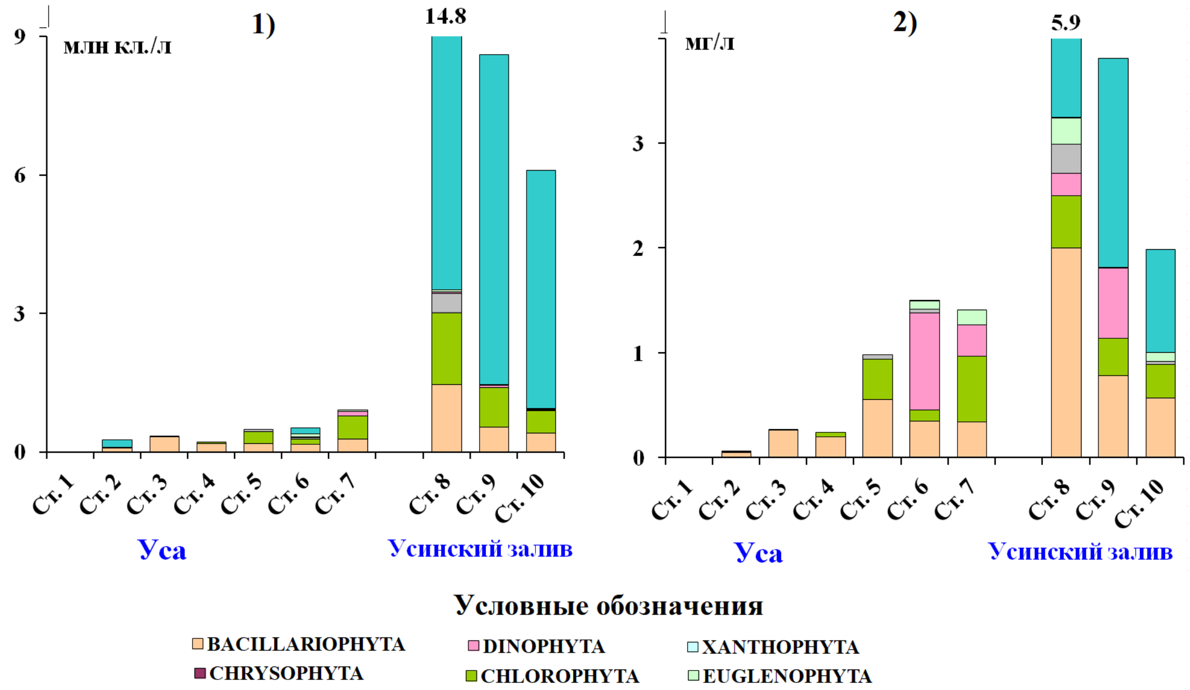


Рис. 6. Изменения численности (1) и биомассы (2) водорослей разных таксонов на станциях (ст) отбора проб р. Уса в 2017, 2018 гг. **Fig. 6.** Changes in the abundance (1) and biomass (2) of algae of different taxa at the sampling stations (ст) of the Usa River in 2017 and 2018.

Результаты исследований пространственного распределения фитопланктона в июле-августе 2017 года позволили установить особенности формирования планктонных альгоценозов в р. Уса.

В условиях высокого содержания основных биогенных элементов (N, P) в воде р. Уса и ее притоках, факторами, влияющими на распределение, характер и степень развития фитопланктона являются гидрологические – скорость течения, прозрачность, температура. Корреляционный анализ выявил наличие достоверных связей ($P \leq 0.05$) между скоростью течения и такими показателями как: концентрация хлорофилла-«а», численность, удельное число видов и биомасса фитопланктона ($r = -0.65$, $r = -0.69$, $r = -0.82$, $r = -0.79$).

Выявлена динамика структуры альгоценозов рек от истока к устью, которая характеризуется неравномерным распределением численности и биомассы, что обусловлено в значительной степени биотопическим разнообразием и абиотическим воздействием. Для реки Уса характерна континуальность распределения численности и биомассы фитопланктона (рис. 7). В связи с эвтрофированием и повышенным содержанием концентрации фосфора ($P_{общ.}$) на всех участках реки, в результате мощного смыва удобрений с сельскохозяйственных полей, зарегистрированы изменения видового состава и количественного развития фитопланктона, которые выразились в значительном увеличении численности миксотрофных фитофлагеллят – индикаторов органического загрязнения и увеличения количества фитопланктона.

В Усинском заливе (рис. 7) наблюдается значительное увеличение содержания хлорофилла-«а», численности фитопланктона, а также развитие видов, доминирующих в Волжских водохранилищах, например таких как *Microcystis aeruginosa* Kütz. emend. Elenk., *Microcystis wesenbergii* Kom., *Aphanizomenon flos-aquae* (L.) Ralfs., *Anabaena flos-aquae f. flos-aquae* (Lyngb.) Breb.

Таким образом, таксономический состав на каждом из участков реки специфичен и формируется в соответствии с совокупностью особенностей экологических условий, связанных с воздействующими природными и антропогенными факторами.

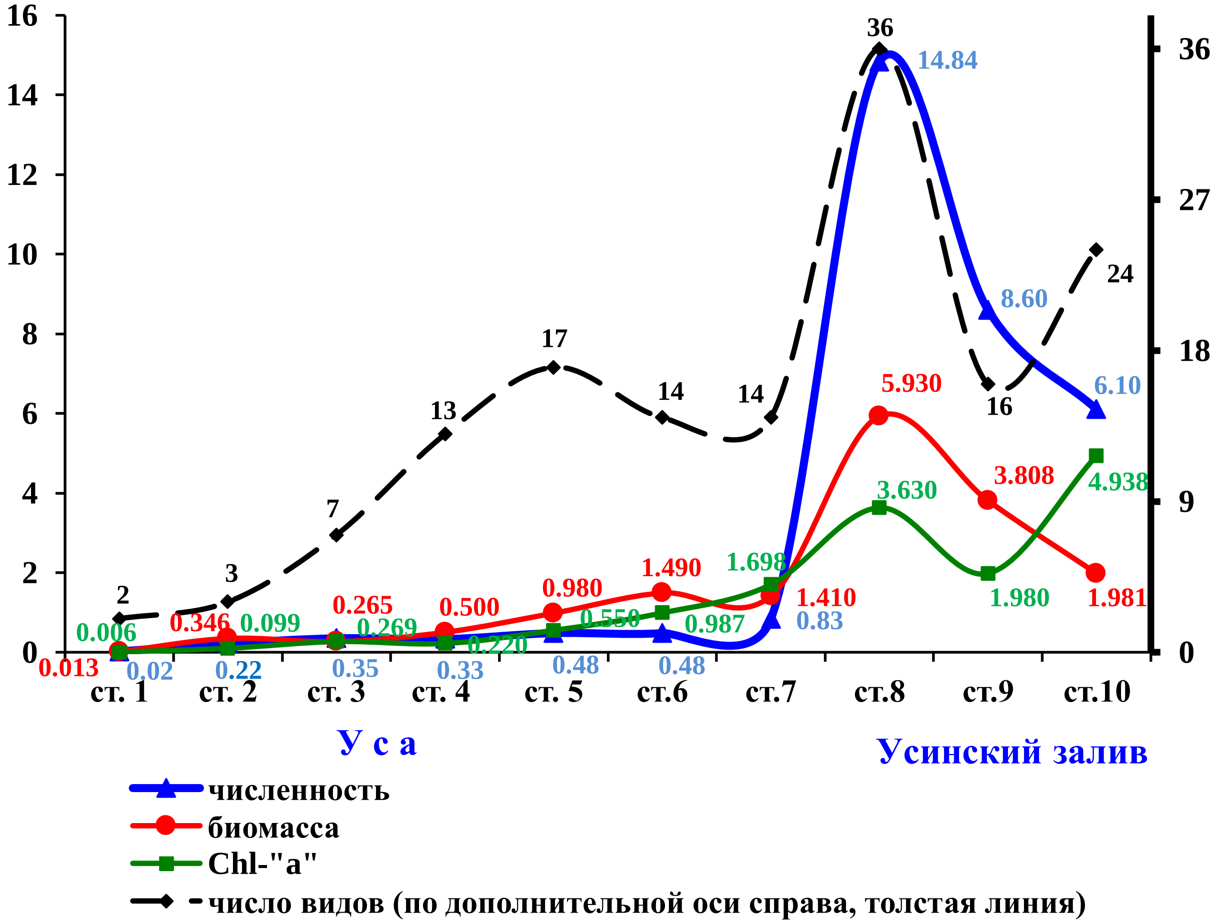


Рис. 7. Динамика суммарной численности и биомассы, содержания хлорофилла-«а» и удельного числа видов в альгоценозах планктона на станциях (ст) отбора проб р. Уса в 2017, 2018 гг**. Fig. 7.** Dynamics of the total abundance and biomass, the content of chlorophyll-«a» and the specific number of species in algocenoses of plankton at the sampling stations (ст) of the Usa River in 2017 and 2018.

Сообщества зоопланктона: структурные особенности сообществ зоопланктона, состав и распределение

За период летних исследований в 2017-2018 гг. в р. Уса зарегистрировано 45 видов зоопланктона, в том числе 28 – коловраток, 13 – ветвистоусых раков и 4 вида веслоногих ракообразных (в том числе 3 – циклопоида и 1 – каланоида). Наибольшее число видов отмечено на среднем участке реки и в притоках, где обнаружено 13 видов, из которых по численности преобладают копеподитные стадии циклопов (470 экз./м^3). Таксономический состав в целом типичен для равнинных рек и представлен фитофильными видами коловраток родов *Cephalodella* Bory de St.Vincent,1826, *Lepadella* Bory de St.Vincent,1826, *Testudinella*, Bory de St.Vincent, 1822, *Epiphanes senta* (Müller,1773), *Mytilina mucronata* (Müller,1773) и др. и ракообразных – *Pleuroxus aduncus* (Jurine, 1820), *Simocephalus serrulatus* (Koch, 1841), а также планктобентосными видами и таксонами (коловратки Bdelloidea, Hudson, 1884, ветвистоусые ракообразные рода *Alona* Baird, 1843). На разных участках преобладающими в летний период являются коловратки, представители родов и видов *Synchaeta* Ehrenberg, 1832, *Brachionus* Pallas,1766, *Euchlanis* Ehrenberg, 1830, *Asplanchna priodonta,* Gosse, 1850, *Platyias quadricornis* Ehrenberg, 1832; ветвистоусые ракообразные *Chydorus sphaericus* (Müller,1776) и циклопы *Thermocyclops crassus* (Fischer, 1853).

Видовой состава реки Уса и ее притоков характеризуется локальной спецификой, связанной с градиентом условий среды и отмеченным композиционным структурным единством. На всем протяжении показатели численности и биомассы зоопланктона зависят от комплекса гидроэкологических условий и изменяются в широких пределах (рис. 8). Минимальные их значения (400 экз./м^3; 1.26 мг/м^3) характерны для верхнего проточного участка реки и обусловлены развитием коловраток; максимальные величины (750 экз./м^3; 2.6 мг/м^3) – в зоопланктоне участка реки, расположенного в нижнем течении. Биомасса на различных участках реки варьирует от 0.2 мг/м^3 до 3.5 мг/м^3. В устьевой области реки обилие зоопланктона достигает 0.25 млн.экз./м^3, а биомасса – 1.5 г/м^3. Наибольшие величины обилия зоопланктона отмечены на глубоководном участке реки, в месте смешения вод реки Уса и Куйбышевского водохранилища, где биомасса зоопланктона может превышать 5.4 г/м^3, что указывает на неоднородность водных масс.

Основу численности составляют веслоногие ракообразные, а биомассы – ветвистоусые ракообразные – *Daphnia galeata* Sars 1864. Индекс видового разнообразия Шеннона, рассчитанный по численности и биомассе гидробионтов в зоопланктоне всей реки имеет сходные величины – 2.9-3.1 бит/экз. На всем протяжении реки по составу и количественным показателям зоопланктона водоток относится к β-мезосапробной зоне (по индексам сапробности). В среднем течении локально отмечены загрязненные участки за счет высокой численности мезосапробных видов.

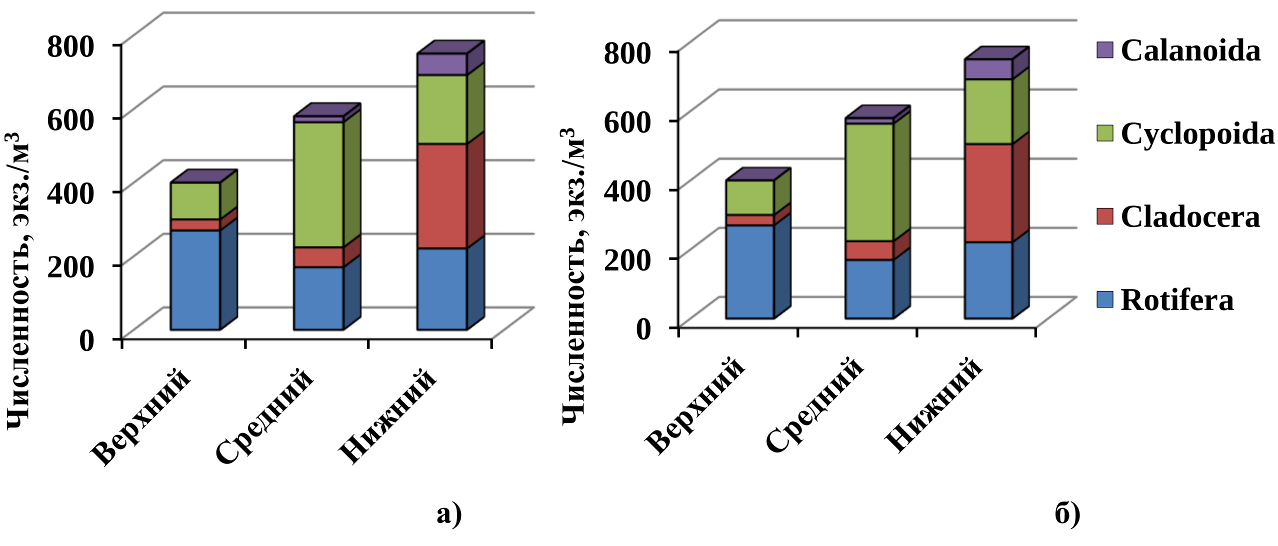


Рис. 8. Распределение численности (а) и биомассы (б) зоопланктона на различных участках р. Уса в 2017-2018 г. **Fig. 8.** Distribution of the abundance (а) and biomass (б) of zooplankton in various areas of the Usa River in 2017-2018.

По комплексу показателей (индекс видового разнообразия, сапробность, численность, биомасса) вода реки относится к III классу качества («умеренно-загрязненная»). В Усинском заливе класс качества воды изменяется от III до IV («умеренно-загрязненная» –

«загрязненная»; табл. 11).

Экологическое состояние реки Уса на всем ее протяжении по показателям зоопланктона характеризуется как относительно удовлетворительное (табл. 11).

Таблица 11. Основные структурные характеристики сообществ зоопланктона р. Уса летом 2017-2018 гг. **Table 11**. Main structural characteristics of zooplankton communities of the Usa River in summer of 2017-2018.

№	Показатели	Участки реки		
		Верхний	Средний	Нижний
1	Численность, экз./м^3	400	580	750
2	Биомасса, мг/м^3	1.26	2.12	2.6
3	Доминирующие виды	*Euchlanis* sp., *Chydorus sphaericus*	*Euchlanis* sp., *Brachionus* sp., *Asplanchna priodonta*, *Chydorus sphaericus*	*Daphnia galeata*, *Synchaeta* sp., *Thermocyclops crassus*
4	Соотношение основных групп, % (численность/биомасса): коловратки ветвистоусые веслоногие каланиды	67.5 / 39.7 7.5 / 7.1 25.0 / 53.2 –	29.3 / 29.8 9.3 / 31.9 58.7 / 35.8 2.7 / 2.5	29.4 / 2.7 37.8 / 68.7 25.0 / 21.1 7.8 / 7.5
5	Индексы видового разнообразия Шеннона (численность/биомасса)	2.9 / 3.1	2.6 / 2.7	2.7 / 2.7
6	Индексы сапробности (численность)	1.7	1.73	1.56
7	Зона сапробности	β-мезосапробная	β-мезосапробная.	β-мезосапробная
8	Класс качества воды	III – умеренно загрязненная	III – умеренно загрязненная	III-IV – умеренно загрязненная – загрязненная
9	Экологическое состояние	Относительно удовлетво-рительное	Относительно удовлетво-рительное	Относительно удовлетво-рительное

Для выявления и анализа структурных характеристик сообществ зоопланктона в 2017 г. проведено гидролого-гидрофизическое изучение реки Усы на всем ее протяжении (кондуктометрическое вертикальное профилирование), которое показало выраженную неоднородность водных масс с учетом притоков (рис. 9). Установлено, что в нижнем течении реки происходит смешение речных (~530 мкСм/см) и водохранилищных (370 мкСм/см) вод.

Значимые отличия в температуре воды, ее прозрачности и электропроводности позволили определить границы устьевой области относительно зоны свободного течения реки (*I*) с одной стороны и водохранилища (*III*) с другой. С учетом этого и принимая во внимание режим регулирования стока, выполнено гидроэкологическое районирование устьевой области и выделены две основные зоны – переменного (*IIа*) и стабильного (*IIб*) подпора (рис. 10). Особенностью зоны переменного подпора является нестабильность и пульсация водной массы с суточным/недельным ходом, что наряду с малыми глубинами определяет постоянное и полное перемешивание речных и водохранилищных вод. Зона стабильного подпора в силу больших глубин отличается повышенным постоянством водных масс, установлением глубинного слоя «мертвого объема», мало подверженного техногенному регулированию уровня водохранилища.

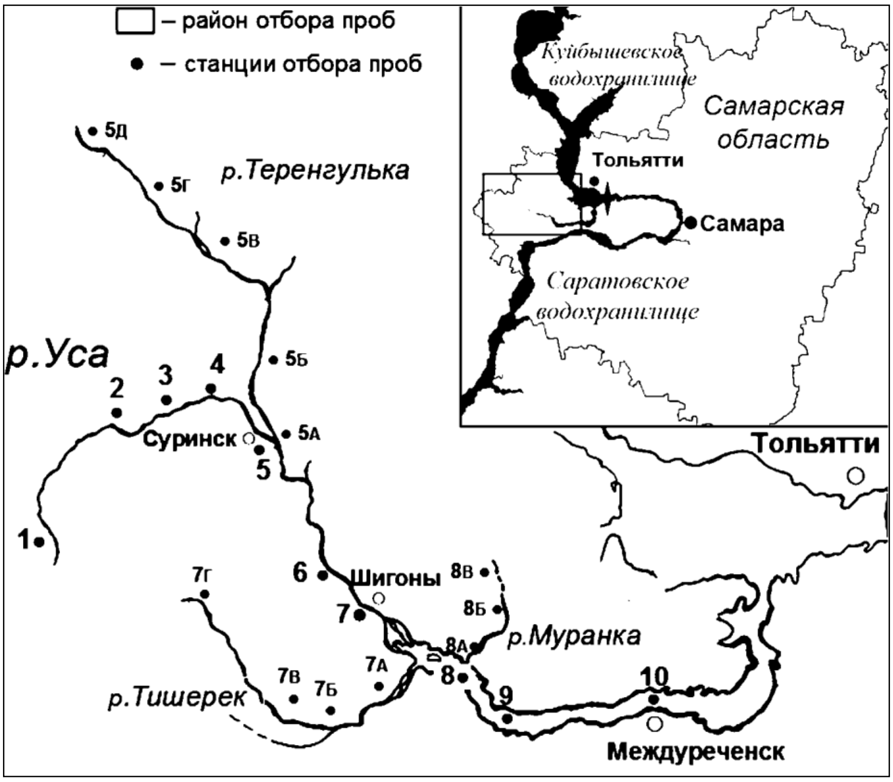


Рис. 9. Схема района исследований р. Уса и притоков с указанием станций отбора проб зоопланктона. **Fig. 9.** Schematic map of the research area of the Usa River and its tributaries with marked zooplankton sampling stations.

Классификация сообществ по видовому составу позволяет выделить основные ландшафтно-гидроэкологические кластеры, а именно, среднее и нижнее течения р. Усы и водохранилище, низовья, среднее течение и верхние участки притоков. При этом видовой состав сообществ зоопланктона характеризуется мозаичностью распределения, что особенно выражено в малых притоках Усы. Так, реки, впадающие в р. Уса, характеризуются локальной спецификой структуры сообществ зоопланктона в условиях сходного гидроэкологического режима. Например, в верхнем течении рек ценозы доминирующих видов зависят от конкретных экологических условий: в биотопах с растительностью доминируют коловратки родов *Euchlanis*, *Platyias quadricornis* и кладоцера *Chydorus sphaericus* (рр. Муранка и Теренгулька), на быстротекущих участках и в заводях преобладают ракообразные – *Daphnia pulex* Leydig, 1860, неполовозрелые циклопы, *Eucyclops serrulatus* Fischer, 1851. В среднем течении доминируют главным образом коловратки родов *Euchlanis*, *Brachionus*, *Asplanchna* и *Synchaeta* и неполовозрелые циклопы. Доминантами сообществ низовьев рек являются преимущественно ветвистоусые ракообразные, в т.ч. индикаторы мезо-эвтрофных вод – *Ceriodaphnia pulchella* Sars, 1862, *Chydorus sphaericus*, иногда коловратки рода *Synchaeta*.

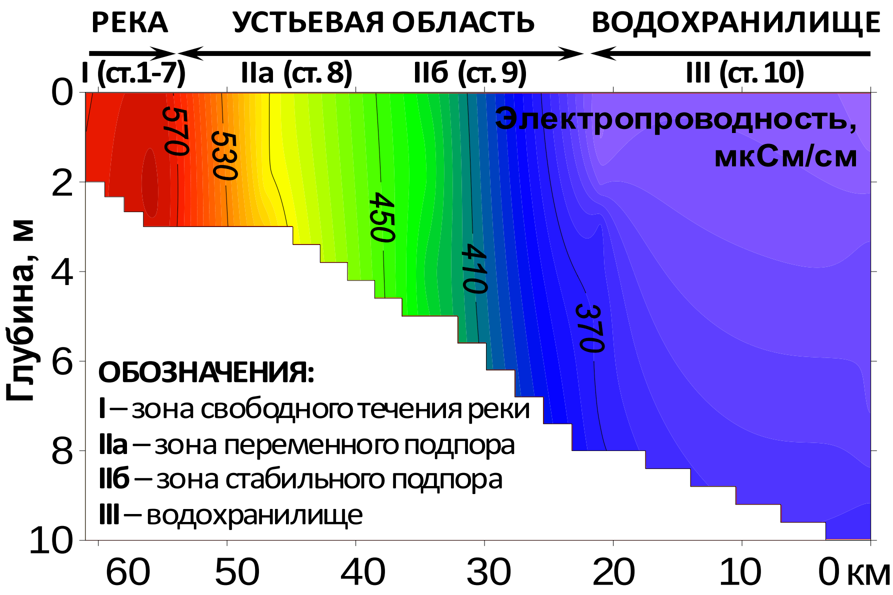


Рис. 10. Вертикальный профиль электропроводности воды на участке нижнего течения р. Усы в зоне смешения речных и водохранилищных вод. **Fig. 10.** Vertical profile of the water electrical conductivity in the lower reaches of the Usa River in the area where river and reservoir waters meet.

Особенности гидрологического режима устьевой области определяют распределение зоопланктона, характеризующееся его минимальным количественным развитием в реке (0.015 г/м^3) и максимальным – в водохранилище (14.5 г/м^3). Эти особенности распределения устойчивы в разные годы, в т.ч. в вегетационный период 2017 года, отличающийся от среднемноголетней нормы высоким количеством атмосферных осадков и пониженной температурой воздуха. В 2017-2018 гг. отмечены сходные черты пространственной организации сообществ зоопланктона незарегулированного участка реки, устьевой области и водохранилища. При этом своеобразным положением отличается сообщество зоны переменного подпора, т.е. зона смешения речных и водохранилищных вод (рис. 11 IIа), подверженного влиянию суточных колебаний уровня водохранилища. Устьевая область (рис. 11) отличается от граничащих систем реки и водохранилища доминированием ветвистоусых или веслоногих ракообразных, в т.ч. индикаторов мезоэвтрофных условий водных масс.

Оценка вертикального распределения зоопланктона с учетом данных объективного контроля позволила установить границу контакта опресненных и прогретых речных и более минерализованных и холодных грунтовых вод на глубине 3 м, формируя фронтальную поверхность раздела водных сред (рис. 11). При этом в области смешения вод устойчиво отмечается повышенное видовое богатство зоопланктона, его максимальное обилие и продукция. Вероятная причина локализации разнообразия, повышенной биомассы и продукции сообщества зоопланктона на границе двух слоев воды – плотностная стратификация. Как известно, повышение электропроводности происходит при увеличении минерализации воды, что наряду с меньшими температурами способствует возрастанию ее плотности и вязкости. В этом случае граница трансформированных грунтовых вод служит так называемым «вторым дном», на котором задерживается часть седимента и лабильная часть органических веществ, о чем косвенно свидетельствуют максимальные значения индекса сапробности на границе контакта вод (рис. 11). В результате в этой зоне формируется богатая кормовая база, создающая благоприятные условия для развития разнообразного и обильного зоопланктона.

Сообщества зоопланктона трансформированных речных и грунтовых вод, а также зоны их смешения различаются своеобразием видовой структуры с характерным комплексом доминантов. Так, относительно граничащих горизонтов в зоне смешения вод наибольшую ценотическую роль играют преимущественно науплиусы циклопов, хищная *Asplanchna priodonta*, а также рачки *Thermocyclops crassus Fischer,* 1853 и *Chydorus sphaericus* – индикаторы мезоэвтрофных условий среды. Статистическое тестирование учтенных факторов среды подтверждает наше предположение об определяющем характере связи особенностей вертикального распределения зоопланктона на участке стратификации с плотностью воды (NMDS: $R^2 = 0.983$, $p_{(permut)} = 0.024$).

Наибольшие величины обилия зоопланктона отмечены на глубоководном участке «река Уса – Куйбышевское водохранилище», где численность и биомасса зоопланктона достигают 0.4 тыс. экз./м³ и 5.4 г/м³ с преобладанием *Daphnia galeata* Sars,1864.

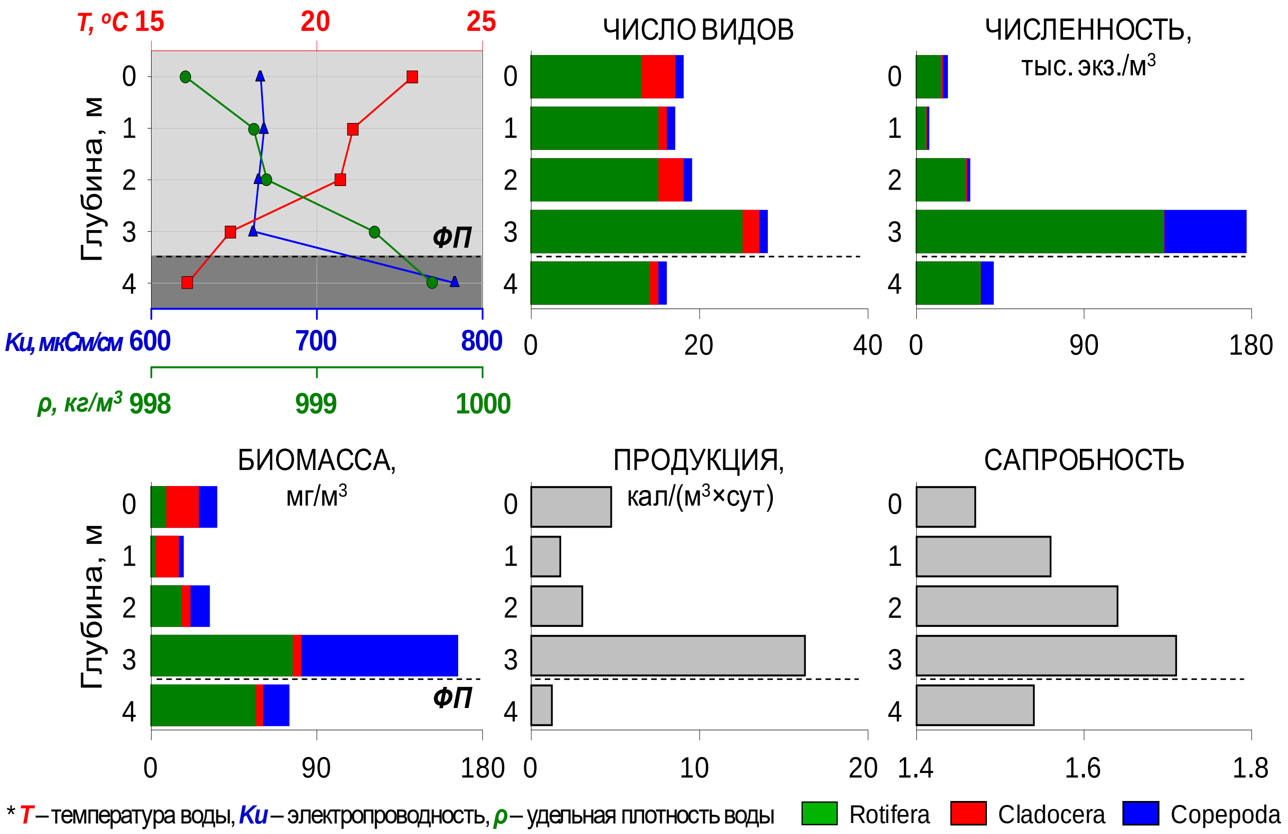


Рис. 11. Вертикальное распределение физико-химических характеристик воды и зоопланктона участка стратификации вод в притоке р. Уса**. Fig. 11.** Vertical distribution of physico-chemical characteristics of water and zooplankton at the water stratification site in the tributary of the Usa River.

Таким образом, видовое богатство зоопланктона реки возрастает от истока к устью в условиях развития зоопланктеров в мезо-эвтрофных водных массах. Изменчивость гидрофизических и гидрологических параметров определяет продольное распределение количественных и структурных показателей сообществ планктонных организмов *по типу экоклина*.

Следует отметить, что в устьевой зоне реки впервые для бассейна Куйбышевского водохранилища зарегистрирована коловратка *Kellicottia bostoniensis* (Rousselet, 1908) – обитатель водоемов северных широт. Находка вида-вселенца в бассейне р. Уса соответствует южной границе ареала вселенца в пределах бассейна Средней Волги.

Сообщества макрозообентоса: разнообразие, структурные и количественные изменения, индикация качества воды

За период исследований (2017-2018 гг.) в составе донных сообществ в р. Уса было зарегистрировано 127 видов гидробионтов. Ведущей по видовому составу группой организмов являются двукрылые, из которых наибольшим числом видов (50) представлены личинки хирономид (Chironomidae). Из других таксономических групп зообентоса зарегистрировано 20 видов малощетинковых червей (олигохет), 13 – моллюсков, 12 – личинки прочих двукрылых (мух, цератопогонид), 7 – ракообразных, 7 – поденок, 5 – ручейников, 3 – клопов, по 1 – веснянок и стрекоз. В составе донных сообществ отмечены также 8 представителей мейобентоса – водяных клещей, нематод и паукообразных (табл. 12; рис. 12). Таксономическое богатство макрозообентоса на участках реки в значительной степени обусловлено биотопическим разнообразием. Так, в истоке реки каменистые биотопы перемежаются заиленными почвами и песком, в верхнем течении преобладают гравийно-песчанистые грунты, а в среднем и нижнем участках – заиленные пески, часто с примесью растительных остатков и ракуши; серые илы и заиленная глина с песком.

Таблица 12. Таксономический состав зообентоса р. Уса (на прибрежье и русле) в весенне-летний период 2017-2018 гг. **Table 12.** Taxonomic composition of zoobenthos of the banks and riverbed of the Usa River in the spring-summer of 2017-2018.

Таксоны	**Верхнее течение**	**Среднее течение**	**Нижнее течение**
Oligochaeta	10	10	11
Hirudinea	1	1	1
Chironomidae	33	28	25
Plecoptera	1	–	–
Ephemeroptera	7	4	2
Trichoptera	4	1	2
Coleoptera	6	1	-
Insecta*	9	6	2
Crustacea	2	–	5
Mollusca	7	6	2
Прочие (клещи, пауки, нематоды)	8	1	1
Всего видов	88	58	51

Примечание к таблице 12: * – личинки двукрылых (кроме хирономид) и стрекоз, клопы. **Note to the table:** * – larvae of Diptera (excluding Chironomids) and dragonfly, Hemiptera.

В верхнем участке р. Уса установлено 88 видов и таксонов (табл. 12), среди которых преобладают литореофильные формы бентоса (обитатели каменистых грунтов на участках с быстрым течением): личинки хирономид, поденки, ручейники, веснянки. Впервые для рек Волжского бассейна зарегистрированы реофильные поденки *Paraleptophlebia cincta* Ritzius, 1783 и хирономиды *Guttipelopia guttipennis,* Wulp, 1874. Средняя численность макрозообентоса составила 2521 экз./м^2, биомасса – 7.0 г/м^2. Основа численности представлена личинками хирономид (55% от суммарной численности бентоса), малощетинковыми червями (16%) и отрядами поденок, ручейников и веснянок (9%; табл. 12; рис. 12). В 2017-2018 гг. по численности в верховьях реки преобладали реофильные личинки хирономид *Micropsectra* gr. *praecox* Meigen, 1818, поденки *Baetis rhodani* Pictet, 1843, комары-болотницы *Dicranota bimaculata* (Schummel, 1829), а также на отдельных участках в заводях отмечены скопления пелофильных олигохет *Tubifex tubifex* (Müller, 1774).

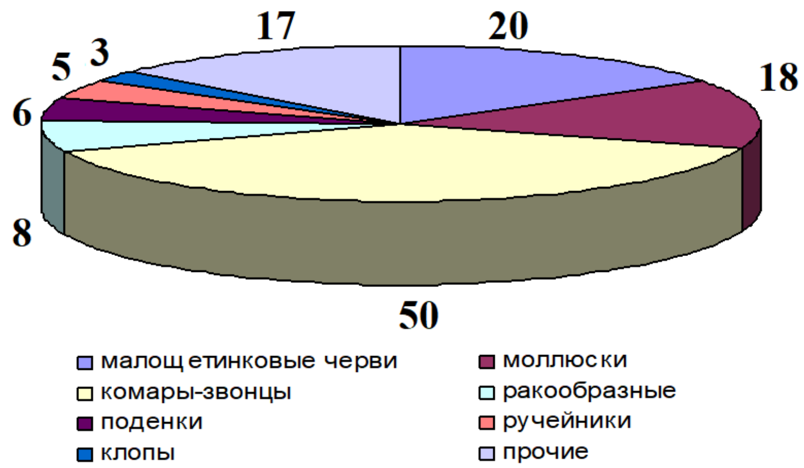


Рис. 12. Таксономический состав зообентоса р. Уса в 2017-2018 гг.
Fig. 12. Taxonomic composition of zoobenthos of the Usa River in 2017-2018.

В среднем участке реки в составе сообществ макрозообентоса отмечено 58 таксонов и видов с доминированием эврибионтных олигохет *Limnodrilus hoffmeisteri* Claparède, 1862, *Tubifex tubifex* (Müller, 1774) и личинок хирономид *Polypedilum scalaenum* (Schrank, 1803), *Paralauterborniella nigrohalteralis* (Malloch, 1915) На стрежневых участках в растительных остатках преобладают фитореофильные хирономиды – *Orthocladius oblidens* (Walker, 1856).

Средняя численность бентоса составила 730 экз./м^2, достигая 1170 экз./м^2, а биомасса – 0.98-1.71 г/м^2. По составу бентоса участок среднего течения характеризуется развитием личинок хирономид (47%) и олигохет (34%), а поденки и ручейники составляют 6% (табл. 12, 13). Снижение численности и разнообразия зообентоса в среднем течении обусловлено развитием малощетинковых червей на серых илах при возрастающем загрязнении реки фосфатами в районе с. Шигоны.

В нижнем течении в зоне подпора водами Куйбышевского водохранилища таксономический состав донных сообществах снижается, тогда как возрастает численность пелофильных гидробионтов – до 6463-15200 экз./м^2 за счет развития эврибионтных видов хирономид: *Cladotanytarsus mancus, P. nubeculosum, Chironomus plumosus, Dicrotendipes nervosus* и олигохет *L. hoffmeisteri* (табл. 12, 13; рис. 13).

Ранее мы показали, что при анализе многомерных методов статистистической обработки данных оценки распределения макрозообентоса от истоков к устью р. Уса был установлен продольный градиент абиотических факторов, определяющий развитие донных сообществ, а также была дана оценка характера пространственного распределения видов бентоса (Зинченко и др., 2017; Шитиков, Зинченко, 2018). Как видно, в 2017-2018 гг. характер пространственного распределения структуры, численности и биомассы донных сообществ на участках реки свидетельствует о возрастании количественных показателей гидробионтов в нижнем течении (рис. 13), в т.ч. за счет распространения чужеродных видов (табл. 13).

Таблица 13. Видовой состав чужеродных видов зообентоса в Усинском заливе в 2017-2018 гг.
Table 13. Species composition of alien zoobenthos species in the Usinsk Bay in 2017-2018.

Таксоны	Русло	Прибрежье
Polychaeta		
Hypania invalida (Grube, 1860)	+	+
Oligochaeta		
Potamothrix vejdovskyi (Hrabě, 1941)	+	–
Crustacea		
Chaetogammarus warpachowskyi (G.O. Sars, 1894)	–	+
Pontogammarus maeoticus (Sowinsky, 1894)	–	+
P. robustoides (G.O. Sars, 1894)	–	+
P. obesus (G.O. Sars, 1896)	+	–
Paramysis ullskyi Czerniavsky, 1882	–	+
P. lacustris (Czerniavsky, 1882)	–	+
P. intermedia (Czerniavsky, 1882)	–	+
Katamysis warpachowskyi (G.O. Sars, 1893)	–	+
Pterocuma sowinskyi (G.O. Sars, 1894)	–	+
Mollusca		
Dreissena bugensis (Andrusov, 1897)	+	+
D. polymorpha (Pallas, 1771)	+	+
Monodacna colorata (Eichwald, 1829)	–	+
Lithoglyphus naticoides (Preiffer,1828)	–	+
Всего таксонов – 15	5	13

Наиболее восприимчивы к инвазиям зарегулированные водотоки и участки, характеризующиеся динамичностью абиотических условий, т.е. заливы и устья рек. В 2017-2018 гг. в донных сообществах Усинского залива зарегистрировано 15 видов-вселенцев (табл. 13), из которых 9 представлены ракообразными понто-каспийского комплекса (4 – Mysidacea, 4 – Amphipoda, 1 – Cumacea), 4 – двустворчатыми и брюхоногими моллюсками, также были обнаружены полихеты *Hypania invalida* (Grube, 1860) и олигохеты *Potamothrix vejdovskyi* (Hrabě, 1941). В устьевом участке р. Уса зарегистрирован 1 чужеродный вид – амфиподы *Dikerogammarus caspius* (Pallas, 1771). В прибрежной зоне выявлено 11 видов вселенцев Понто-Каспийского комплекса (Курина, 2014, 2018). По данным за 2009-2017 гг., в заливе зарегистрировано 15 чужеродных видов (Курина, 2020). В 2018 г. список вселенцев залива пополнился каспийскими амфиподами *Chaetogammarus warpachowskyi* (G.O. Sars, 1894) и кумовыми раками *Pterocuma sowinskyi* (G.O. Sars, 1894), которые также широко распространены в Куйбышевском водохранилище и продолжают распространение вверх по течению р. Волга. Подавляющее большинство чужеродных видов обитает в прибрежной зоне залива, а в русловой части встречается единично (Курина, 2018).

Наиболее важными факторами распространения гидробионтов в донных сообществах р. Уса являются насыщение кислородом, содержание общего фосфора и общая минерализация воды, что обусловливает общий характер распределения сообществ бентоса в условиях локальных биотопических и сезонных изменений (Шитиков, Зинченко, 2018).

Ниже дается оценка качества воды и общего экологического состояния реки по состоянию донных сообществ.

Индекс видового разнообразия Шеннона для донных сообществ верхнего течения реки Уса изменялся в пределах 1.5-3.1 бит/экз., для сообществ бентоса среднего течения – 1.9-3.5 бит/экз., для участка нижнего течения – 1.9-3.3 бит/экз., что соответствует показателям среднего и высокого разнообразия на всех участках реки.

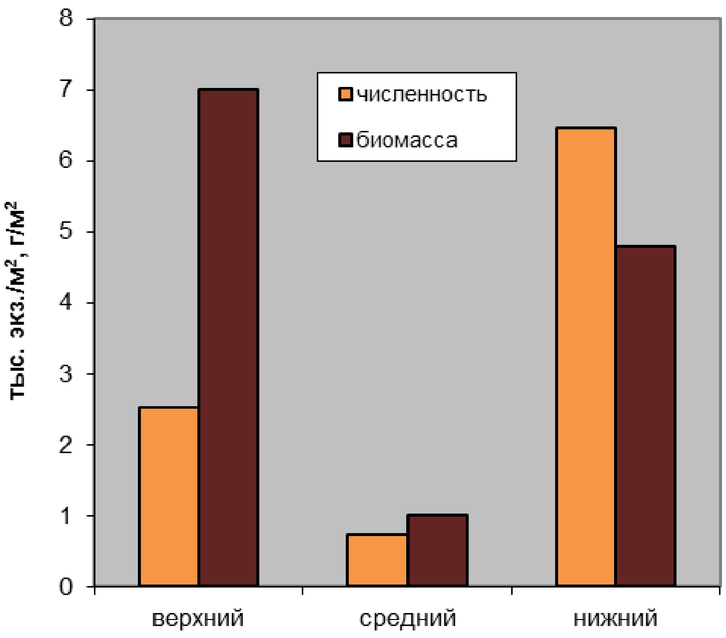


Рис. 13. Изменение численности и биомассы зообентоса на различных участках р. Уса в 2017-2018 гг. **Fig. 13.** Changes in the population and biomass of zoobenthos in various parts of the Usa River in 2017-2018.

По составу донного населения прибрежья (ритрали) и глубоководных участков (медиали) верхний участок реки относится преимущественно к олигосапробной и β-мезосапробной зоне. Сапробность в прибрежье среднего течения р. Уса изменялась от олигосапробной до полисапробной, в русле – от β-мезосапробной до полисапробной. Нижний участок реки в прибрежье характеризовался как олигосапробный, а в русле – как α-мезосапробный и полисапробный (табл. 14).

Качество воды верхнего участка реки, оцениваемое по показателям индекса Вудивисса, находилось в пределах II-III классов, т.е. «чистая» – «умеренно загрязненная». В среднем течении качество воды прибрежных участков характеризовалось как «чистая» – «грязная» (II-V классы); в русле оно изменялось от «умеренно загрязненная» до «вода грязная» (III-V классы); в нижнем течении прибрежная зона оценивалась II-IV классами, т.е. «чистая» – «загрязненная», а качество воды на глубоководных участках соответствовало V классу – «грязная».

Экологическое состояние р. Уса, оцениваемое по состоянию сообществ макрозообентоса в прибрежье верхнего, среднего и нижнего участков, «относительно удовлетворительное» (табл. 14), тогда как локально, на русловых участках, вода соответствует зоне «экологического кризиса» (Критерии …, 1992).

Таблица 14. Основные структурные характеристики и оценка экологического состояния р. Уса по зообентосу в 2017-2018 гг. **Table 14.** Main structural characteristics and assessment of the ecological state of the Usa River by zoobenthos in 2017-2018.

№	Показатели	Участок реки		
		Верхний	**Средний**	**Нижний**
1	Численность, экз./м^2: средняя максимальная	 2521 11750	 730 1170	 6463 15200
2	Биомасса, г/м^2: средняя максимальная	 7.0 20.3	 0.98 1.71	 4.8 11.1
3	**Доминирующие виды, группы (по численности)**	личинки хирономид *Micropsectra* gr. *praecox*, поденки *Baetis rhodani*, лимонииды *Dicranota bimaculata*, малощетинковые черви *Tubifex tubifex*	малощетинковые черви *Limnodrilus hoffmeisteri*, *Tubifex tubifex*, личинки хирономид *Polypedilum scalaenum*, *Orthocladius oblidens*	личинки хирономид *Polypedilum nubeculosum*, *Chironomus plumosus*, *Limnodrilus hoffmeisteri*
4	Индекс видового разнообразия Шеннона (мин./макс.)	2.8 -3.1 / 1.5	2.5-3.5 / 1.9-2.9	1.9-3.2 / 3.3
5	Биотический индекс Вудивисса (прибрежье/русло)	6-9 / 6	2-7 / 3-6	4-7 / 3
6	Индекс сапробности по численности видов (прибрежье/русло)	1.0-1.6 / 1.8	1.5-3.6 / 1.7 -3.8	1.4-2.9 / 3.7
7	Зона сапробности (прибрежье/русло)	олигосапробная – β-мезосапробная / β-мезосапробная	олигосапробная – полисапробная / β-мезосапробная – полисапробная	олигосапробная – α-мезосапробная / полисапробная
8	Олигохетный индекс, % (прибрежье/русло)	0-48 / 15	19-38 / 0-16	1-12 / 5
9	Класс качества воды (по индексу Вудивисса) (прибрежье/русло)	II-III: чистая – умеренно загрязненная / III: умеренно загрязненная	II-V: чистая – грязная / III-V: умеренно загрязненная – грязная	II–IV: чистая – загрязненная / V: грязная
10	Экологическое состояние водотока (прибрежье/русло)	Относительно удовлетворительное / относительно удовлетворительное	Относительно удовлетворительное – зона экологического кризиса / зона экологического кризиса	Относительно удовлетворительное/ зона экологического кризиса

Можно констатировать, что верхний участок р. Уса по состоянию кормовой базы для бентосоядных рыб, согласно рыбохозяйственной шкале, характеризуется как «выше средней кормности», средний участок – «малокормный», нижний – «среднекормный».

По состоянию зообентоса качество воды верхнего участка реки находится в диапазоне II-III классов, т.е. вода «чистая» – «умеренно загрязненная». Качество воды среднего участка в рипали изменяется от II до V классов: «чистая» – «грязная». Медиаль среднего течения характеризуется III-V классами качества. Рипаль нижнего течения оценивается II-IV классом, т.е. «чистая» – «загрязненная», а медиаль – V классом, т.е. «грязная» (табл. 14).

Определение качества водных масс выполнено нами дополнительно с использованием индекса загрязнения воды (УИКЗВ), а комплексная оценка состояния экосистемы реки выполнена на основе интегрального индекса экологического состояния с учетом данных по гидрохимическим и гидробиологическим показателям (ИИЭС; Зинченко и др., 2000) и с использованием оценки экологической состояния бассейна реки (Критерии …, 1992; табл. 15). Исследования показали, что река испытывает слабое умеренное антропогенное воздействие в верхнем и среднем течениях, а в устьевом участке она относится в основном к загрязненным водотокам с относительно удовлетворительной экологической ситуацией на отдельных участках. Было установлено, что притоки р. Уса не увеличивают внутреннюю биогенную нагрузку и не оказывают влияние на биоразнообразие и биоресурсы самой реки (Зинченко и др., 2019).

Экологический статус реки Уса установлен нами ранее на основании данных комплексной характеристики техногенной нагрузки и суммировании результатов мониторинга по оценке качества участков реки на всем ее протяжении (Зинченко и др., 2019).

Таблица 15. **Х**арактеристика экологического состояния р. Уса с использованием интегральных методов оценки. **Table 15.** Characterizing the ecological state of the Usa River using integral estimation methods.

Методы	Верхнее течение	Среднее течение	Нижнее течение
ИЗВ, УИКЗВ	удовлетворительно	относительное экологическое благополучие	относительное экологическое благополучие
ИИЭС	относительное экологическое благополучие	относительное экологическое благополучие	умеренно загрязненная
«Критерии …», 1992	удовлетворительная экологическая ситуация	относительное экологическое благополучие	загрязненная

Оценка качества воды в р. Уса, рассчитанная по показателям макрозообентоса (раздел Материалы и методы) с использованием комплекса биотических показателей и индексов показана в таблице 16. На створах верхнего течения реки величины показателя EPT изменялись от 5 до 7 баллов, что существенно ниже показателей для эталонных участков, где число видов EPT обычно достигает 13-15. Согласно значениям Биотического индекса Вудивисса, качество воды изменялось от «очень чистой» до «чистой» (табл. 16), индекс BMWP характеризовал качество воды как «очень хорошее», индекс *H*n – «вода чистая», индекс G/WI – «река в хорошем состоянии».

В среднем течении реки отмечается снижение качества воды по биотическим показателям (табл. 17). Так, величины показателя EPT не превышали 4 балла, а величины

TBI дали оценку воды как «чистая-умеренно загрязненная», BMWP – как вода «хорошего» качества, G/WI – «река в хорошем состоянии», H – вода «умеренно загрязненная».

В нижнем течении водные массы р. Уса характеризуются состоянием градации – от «вода в хорошем состоянии» (согласно расчету индекса G/WI) до «вода очень грязная» (индекс TBI) и «вода плохого качества» (индекс BMWP).

Общее экологическое состояние р. Уса характеризуется совокупностью воздействия абиотических факторов, установленных структурных и количественных характеристик планктонных и донных сообществ, что позволяет отнести р. Уса к равнинным рекам, испытывающим умеренный антропогенный пресс с локальной повышенной нагрузкой в местах выпуска сточных вод и в Усинском заливе.

Таблица 16. Оценка качества воды и экологического состояния участков р. Уса по биотическим показателям. **Table 16.** Assessment of water quality and ecological state of the Usa River parts according to their biotic indicators.

Индекс	**Значение индекса и оценка качества воды**	**Участок реки**		
		Верхний	**Средний**	**Нижний**
EPT	значение	5-7	2-4	0
TBI	значение индекса, балл	8-10	6-7	1-3
	качество воды	очень чистая – чистая	чистая – умеренно загрязненная	грязная – очень грязная
BMWP	значение индекса, балл	136-141	68-76	23-25
	качество воды	очень хорошее	хорошее	плохое
G/WI	значение индекса, %	8-11	25-27	45-50
	качество воды	река в хорошем состоянии	река в хорошем состоянии	река в хорошем состоянии
Hn	значение индекса	3.05-3.15	2.3-2.5	1.9-2.07
	качество воды	чистая	умеренно загрязненная	умеренно загрязненная

К основным источникам поступления загрязняющих веществ в речной водоток относятся: сброс загрязняющих веществ в составе коммунально-бытовых сточных вод, промышленных предприятий, поверхностного стока сельскохозяйственных предприятий и с водосборной площади. Можно констатировать, что проведенная интегральная оценка состояния р. Уса по результатам комплексного обследования, выполненная с учетом гидрохимических и гидробиологических характеристик, в соответствии с рекомендациями, изложенными в работе «Критерии оценки экологической обстановки …» (1992) свидетельствует об относительно удовлетворительном состоянии реки на всем ее протяжении с выделением локальных участков реки, характеризуемых в 2017-2018 гг. по содержанию биогенных элементов (фосфаты) как «экологическое бедствие».

Выводы

Таким образом, рассмотрены закономерности структурной изменчивости планктонных и донных сообществ на участках равнинной реки Уса бассейна Средней Волги. Впервые выявлено таксономическое разнообразие альгоценозов р. Уса и её притоков в зависимости от гидрологических условий, антропогенного влияния, изменения содержания биогенных веществ. В 2017-2018 гг. был зарегистрирован 201 таксон водорослей рангом ниже рода из 7 отделов с преобладанием в реках *Bacillariophyta* (56% от состава) и *Chlorophyta* (28%). Диапазон численности в альгоценозах составил 0.02-5.4 млн. кл./л, биомассы – 0.01-2.1 мг/л; содержание хлорофилла-«а» – 0.01-3.1 мкг/л. Пространственная экологическая неоднородность р. Уса обусловливает динамику таксономического состава и структуры, характеризуемых мозаичностью количественного распределения альгофлоры. Экотонный эффект в зоне смешения и трансформации вод нижнего течения водотоков и Усинского залива Куйбышевского водохранилища выражен в увеличении разнообразия и количества водорослей, усилении ценотической роли *Cyanoprokaryota*, а также зелёных водорослей порядка *Chlorococcale*s, доминирующих в Усинском заливе. По биомассе и концентрации хлорофилла-«а» трофическое состояние р. Уса в верхнем и среднем течении является олиготрофным, в устьевой зоне и в Усинском заливе – мезотрофным. Величины индексов сапробности на всех станциях не превышали значения 1.19-2.46.

В сообществах зоопланктона водной системы р. Уса летом 2017-2018 гг. было отмечено 45 видов, из которых коловраток – 28, ветвистоусых – 13, веслоногих ракообразных – 4. Состав зоопланктона типичен для водоемов Волжского бассейна, представлен фитофильными и планктобентосными коловратками, ветвистоусыми ракообразными рода *Alona*. Существенно, что в устьевой зоне реки и притоке Тишерек впервые для бассейна Нижней Волги зарегистрирована коловратка *Kellicottia bostoniensis* (Rousselet) – обитатель водоемов северных широт. Наибольшие величины обилия зоопланктона отмечены в глубоководном участке река–водохранилище, где численность и биомасса зоопланктона достигали 0.4 тыс. экз./м^3 и 5.4 г/м^3 соответственно с преобладанием *Daphnia galeata* Sars. Динамичность гидрофизических и гидрологических параметров определяет продольное распределение количественных и структурных показателей сообществ планктонных организмов *по типу экоклина* в условиях обитания в мезо-эвтрофных водных массах.

Таксономическое богатство макрозообентоса (127 видов и личиночных форм с доминированием 50 видов двукрылых Chironomidae) на участках реки в значительной степени обусловлено биотопическим разнообразием. Подавляющее большинство чужеродных видов – 15, из них 9 представлены ракообразными понто-каспийского комплекса, обитающих в прибрежной зоне. Выделенные ценозы соответствуют характерным зонам водотока в условиях динамики гидролого-гидрохимических факторов, определяющих комплексный градиент среды.

Результаты исследования пространственного распределения видов в сообществах зоопланктона и макрозообентоса р. Уса свидетельствуют о том, что видовой состав на каждом из участков реки специфичен и формируется в соответствии с совокупностью особенностей экологических условий, связанных с воздействующими природными и антропогенными факторами.

Наиболее важными факторами распространения гидробионтов являются насыщение кислородом, содержание общего фосфора и общая минерализация воды, что обусловливает общий характер распределения сообществ бентоса в условиях локальных биотопических и сезонных изменений.

Проведение комплексной осмысленной оценки экологического состояния равнинной реки бассейна Средней Волги имеет существенное значение при объяснении механизмов функционирования речных экосистем.

Экологическое состояние участков р. Уса в 2017-2018 гг. по комплексу интегральных показателей характеризуется как «относительно удовлетворительное» и «зона экологического кризиса» (Зинченко и др., 2019). В результате проведенных исследований можно констатировать, что воды реки на современном этапе удовлетворяют требованиям, предъявляемым для водоемов рыбохозяйственного назначения.

Финансирование. Работа выполнена в рамках государственного задания ИЭВБ РАН № АААА-А17-117112040040-3 «Оценка современного биоразнообразия и прогноз его изменения для экосистем Волжского бассейна в условиях их природной и антропогенной трансформации» и ИБВВ РАН №121051100109-1 «Систематика, разнообразие, биология и экология водных и околоводных беспозвоночных, структура популяций и сообществ в континентальных водах», а также при финансовой поддержке грантов РФФИ (17-04-00135; 17-44-63019) «Экосистемное разнообразие равнинных рек бассейна Средней Волги в современных условиях изменения климата и антропогенного воздействия».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Алекин О.А.* 1970. Основы гидрохимии. Л. 442 с.
2. *Алимов А.Ф., Богатов В.В., Голубков С.М.* 2013. Продукционная гидробиология. СПб.: Наука. 342 с.
3. Биоиндикация экологического состояния равнинных рек. 2007 / Ред. О.В. Бухарин, Г.С. Розенберг. М.: Наука. 403 с.
4. *Богатов В.В.* 1994. Экология речных сообществ российского Дальнего Востока. Владивосток: Дальнаука. 218 с.
5. *Богатов В.В., Федоровский А.С.* 2017. Основы речной гидрологии и гидробиологии. Владивосток: Дальнаука. 384 с.
6. Гидроэкология устьевых областей притоков равнинного водохранилища. 2015 / Ред. А.В. Крылов. Ярославль: Филигрань. 466 с.
7. *Головатюк Л.В., Зинченко Т.Д.* 2020. Биотические идентификаторы в оценке качества воды эталонной реки: сравнительный анализ биоиндикационных индексов реки Байтуган (Высокое Заволжье) // Ученые записки

REFERENCES

1. Alekin OA. Basics of hydrochemistry [*Osnovy gidrokhimii*]. Leningrad, 1970:442.
2. Alimov AF, Bogatov VV, Golubkov SM. Productive hydrobiology [*Produktsionnaya gidrobiologiya*]. Saint-Petersburg: Nauka, 2013:342.
3. Bioindication of the ecological state of lowland rivers [*Bioindikatsiya ekologicheskogo sostoyaniya ravninnykh rek*] / eds. O.V. Bukharin, G.S. Rosenberg. Moscow: Nauka, 2007:403.
4. Bogatov VV. Ecology of river communities in the Russian Far East [*Ekologiya rechnykh soobshchestv rossiyskogo Dal'nego Vostoka*]. Vladivostok: Dal'nauka, 1994:218.
5. Bogatov VV, Fedorovsky AS. Basics of river hydrology and hydrobiology [*Osnovy rechnoy gidrologii i gidrobiologii*]. Vladivostok: Dal'nauka, 2017:384.
6. Hydroecology of the mouth areas of the tributaries of the lowland water reservoir [*Gidroekologiya ust'yevykh oblastey pritokov ravninnogo vodokhranilishcha*] / ed. A.V. Krylov. Yaroslavl: Filigran', 2015:466.
7. Golovatyuk LV, Zinchenko TD. Biotic identifiers for assessing the water quality of a reference river: a comparative analysis of bioindicative indices of the Baitugan River (High Trans-Volga Region) [*Bioticheskiye identifikatory v otsenke kachestva vody etalonnoy reki: sravnitel'nyy analiz bioindikatsionnykh indeksov reki Baytugan (Vysokoye Zavolzh'ye)*] *Scholarly notes of the*

Казанского университета. Серия «Естественные науки». Т. 162. № 1. С. 134-150.

8. *Зинченко Т.Д.* 2011. Эколого-фаунистическая характеристика хирономид (Diptera, Chironomidae) малых рек бассейна средней и нижней Волги (Атлас). Тольятти: Кассандра. 258 с.
9. *Зинченко Т.Д., Выхристюк Л.А., Шитиков В.К.* 2000. Методологический подход к оценке экологического состояния речных систем по гидрохимическим и гидробиологическим показателям // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. Т. 2. № 2. С. 233-243.
10. *Зинченко Т.Д., Головатюк Л.В.* 2010. Биоразнообразие и структура сообществ макрозообентоса соленых рек аридной зоны юга России (Приэльтонье) // Аридные экосистемы. Т. 16. № 3 (43). С. 25-33.
11. *Зинченко Т.Д., Головатюк Л.В., Выхристюк Л.А., Шитиков В.К.* 2010. Разнообразие и структура сообществ макрозообентоса высокоминерализованной р. Хара (Приэльтонье) // Поволжский экологический журнал. № 1. С. 14-30.
12. *Зинченко Т.Д., Головатюк Л.В., Шитиков В.К.* 2017. Особенности пространственного распределения донных сообществ равнинной реки бассейна Средней Волги // Вестник Томского государственного университета. Биология. № 40. С. 163-180.
13. *Зинченко Т.Д., Розенберг Г.С.* 2012. Большие проблемы малых рек // Самарская Лука: проблемы региональной и глобальной

Kazan University [Uchenye zapiski Kazanskogo universiteta] Natural Sciences Series [Seriya “Yestestvennye nauki”]. 2020;162 (1):134-150.

8. Zinchenko TD. Ecological and faunal characteristics of chironomids (Diptera, Chironomidae) from small rivers in the basin of the middle and lower Volga (Atlas) [*Ekologo-faunisticheskaya kharakteristika khironomid (Diptera, Chironomidae) malykh rek basseyna sredney i nizhney Volgi (Atlas)*]. Tolyatti: Kassandra, 2011:258.
9. Zinchenko TD, Vykhristyuk LA, Shitikov VK. Methodological approach to the assessment of the ecological state of river systems by hydrochemical and hydrobiological indicators [Metodologicheskiy podkhod k otsenke ekologicheskogo sostoyaniya rechnykh sistem po gidrokhimicheskim i gidrobiologicheskim pokazatelyam]. *Herald of the Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences [Izvestiya Samarskogo nauchnogo tsentra Rossiyskoy akademii nauk]*. 2000;2 (2):233-243.
10. Zinchenko TD, Golovatyuk LV. Biodiversity and structure of macrozoobenthos communities of saline rivers in the arid zone of southern Russia (Prieltonye) [Bioraznoobraziye i struktura soobshchestv makrozoobentosa solenykh rek aridnoy zony yuga Rossii (Priel’ton’ye)]. *Arid Ecosystems*. 2010;16 (3):25-33.
11. Zinchenko TD, Golovatyuk LV, Vykhristyuk LA, Shitikov VK. Diversity and structure of macrozoobenthos communities in the highly mineralized Khara River (Elton Region) [Raznoobraziye i struktura soobshchestv makrozoobentosa vysokomineralizovannoy r. Khara (Priel’ton’ye)]. *Volga Ecological Journal [Povolzhskiy ekologicheskiy zhurnal]*. 2010;1:14-30.
12. Zinchenko TD, Golovatyuk LV, Shitikov VK. Features of the spatial distribution of benthic communities of the flat river of the Middle Volga basin [Osobennosti prostranstvennogo raspredeleniya donnykh soobshchestv ravninnoy reki basseyna Sredney Volgi]. *Bulletin of the Tomsk State University [Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo universiteta] Biology Series [Biologiya]*. 2017;40:163-180.
13. Zinchenko TD, Rozenberg GS. Big problems of small rivers [Bol’shiye problemy malykh rek]

экологии. Т. 21. № 4. С. 207-213.

14. *Зинченко Т.Д., Розенберг Г.С.* 2021. Опыт исследования малых реке в Институте Экологии Волжского бассейна РАН // Экология речных бассейнов: Труды 10-й Международной научно-практической конференции / Ред. Т.А. Трифонова. Владимир: Аркаим. С. 25-34.
15. *Зинченко Т.Д., Саксонов С.В., Сенатор С.А., Минеев А.К., Головатюк Л.В., Горохова О.Г., Болотов С.Э., Курина Е.М., Абросимова Э.В., Уманская М.В., Кузнецова Р.С., Михайлов Р.А., Попченко Т.В.* 2019. Экологический паспорт реки Усы (правобережный приток Волги) // Самарская Лука: проблемы региональной и глобальной экологии. Т. 28. № 2. С. 156-188.
16. Критерии оценки экологической обстановки территорий для выявления зон чрезвычайной экологической ситуации и зон экологического бедствия. 1992. Утверждено Минприроды РФ 30.11.1992 [Электронный ресурс https://docs.cntd.ru/document/901797511 (дата обращения 7.01.2023)].
17. *Крылов А.В.* 2005. Зоопланктон равнинных малых рек. М.: Наука. 263с.
18. *Курина Е.М.* 2014. Распространение чужеродных видов макрозообентоса в притоках Куйбышевского и Саратовского водохранилищ // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. Т. 16. № 1. С. 236-242.
19. *Курина Е.М.* 2018. Сравнительная оценка размерных характеристик чужеродных видов макрозообентоса Куйбышевского и Саратовского водохранилищ //

Samarskaya Luka: problems of regional and global ecology [Samarskaya Luka: problemy regional'noy i global'noy ekologii]. 2012;21 (4):207-213.

14. Zinchenko TD, Rozenberg GS. Experience in the study of small rivers at the Institute of Ecology of the Volga Basin of the Russian Academy of Sciences [*Opyt issledovaniya malykh reke v Institute Ekologii Volzhskogo basseyna RAN*] *Ecology of river basins [Ekologiya rechnykh basseynov] Proc. of the 10th International Scientific and Practical Conference [Trudy 10-y Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii]* / ed. T.A. Trifonova. Vladimir: Arkaim, 2021:25-34.
15. Zinchenko TD, Saxonov SV, Senator SA, Mineev AK, Golovatyuk LV, Gorokhova OG, Bolotov SE, Kurina EM, Abrosimova EV, Umanskaya MV, Kuznetsova RS, Mikhailov RA, Popchenko TV. Ecological passport of the Usa River (right-bank tributary of the Volga) [Ekologicheskiy pasport reki Usy (pravoberezhnyy pritok Volgi)] *Samarskaya Luka: problems of regional and global ecology [Samarskaya Luka: problemy regional'noy i global'noy ekologii].* 2019;28 (2):156-188.
16. Criteria for assessing the ecological situation of territories to identify zones of ecological emergency and zones of ecological disaster [*Kriterii otsenki ekologicheskoy obstanovki territoriy dlya vyyavleniya zon chrezvychaynoy ekologicheskoy situatsii i zon ekologicheskogo bedstviya*]. Approved by the Ministry of Natural Resources of the Russian Federation on 30/11/1992. 1992, Available at https://docs.cntd.ru/document/901797511 (Date of Access 7/01/2023).
17. Krylov AV. Zooplankton of lowland small rivers [*Zooplankton ravninnykh malykh rek*]. M.: Nauka, 2005:263.
18. Kurina EM. Distribution of alien species of macrozoobenthos in the tributaries of the Kuibyshev and Saratov reservoirs [Rasprostraneniye chuzherodnykh vidov makrozoobentosa v pritokakh Kuybyshevskogo i Saratovskogo vodokhranilishch]. *Herald of the Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences [Izvestiya Samarskogo nauchnogo tsentra Rossiyskoy akademii nauk].* 2014;16

Известия Самарского научного центра РАН. Т. 20. № 2. С. 73-84.
20. *Курина Е.М.* 2020. Особенности распределения чужеродных видов макрозообентоса в заливах водохранилищ (на примере водоёмов средней и нижней Волги) // Российский журнал биологических инвазий. № 1. С. 20-29.
21. Методика изучения биогеоценозов внутренних водоемов. 1975. М.: Наука. 240 с.
22. Методические рекомендации по обработке материалов при гидробиологических исследованиях на пресноводных водоемах. Зообентос и его продукция. 1984а / Ред. Г.Г. Винберг, Г.М. Лаврентьева. Л.: Зоологический институт АН СССР. 52 с.
23. Методические рекомендации по сбору и обработке материалов при гидробиологических исследованиях на пресноводных водоемах (зообентос, фитопланктон, бактериопланктон, зоопланктон). 1984б. Л.: ГосНИОРХ. 32 с.
24. Методические рекомендации по сбору и обработке материалов при гидробиологических исследованиях на пресноводных водоемах: зоопланктон и его продукция. 1982. Л.: ГосНИОРХ. 33 с.
25. Определение продукции популяции водных сообществ: учебно-методическое пособие. 2000. / Ред. А.Ф. Алимов, З.Г. Гольд. Новосибирск: Наука. 63 с.
26. Особенности пресноводных экосистем малых рек Волжского бассейна. 2011 / Ред. Г.С. Розенберг, Т.Д. Зинченко. Тольятти: Кассандра. 322 с.
27. Руководство по

(1):236-242.
19. Kurina EM. Comparative assessment of the size characteristics of alien species of macrozoobenthos of the Kuibyshev and Saratov reservoirs [Sravnitel'naya otsenka razmernykh kharakteristik chuzherodnykh vidov makrozoobentosa Kuybyshevskogo i Saratovskogo vodokhranilishch]. *Herald of the Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences [Izvestiya Samarskogo nauchnogo tsentra Rossiyskoy akademii nauk]*. 2018;20 (2):73-84.
20. Kurina EM. Features of the distribution of alien species of macrozoobenthos in the bays of reservoirs (on the example of reservoirs of the middle and lower Volga) [Osobennosti raspredeleniya chuzherodnykh vidov makrozoobentosa v zalivakh vodokhranilishch (na primere vodoyomov sredney i nizhney Volgi)]. *Russian Journal of Biological Invasions [Rossiyskiy zhurnal biologicheskikh invaziy]*. 2020;1:20-29.
21. Methodology for studying biogeocenoses of inland water bodies [*Metodika izucheniya biogeotsenozov vnutrennikh vodoyemov*]. Moscow: Nauka, 1975:240.
22. Guidelines for the processing of materials in hydrobiological research in fresh water. Zoobenthos and its products [*Metodicheskiye rekomendatsii po obrabotke materialov pri gidrobiologicheskikh issledovaniyakh na presnovodnykh vodoyemakh. Zoobentos i yego produktsiya*] / eds. G.G. Vinberg, G.M. Lavrentieva. Leningrad: Zoologicheskiy institut AN SSSR, 1984a:52.
23. Guidelines for the collection and processing of materials for hydrobiological studies in freshwater reservoirs (zoobenthos, phytoplankton, bacterioplankton, zooplankton) [*Metodicheskiye rekomendatsii po sboru i obrabotke materialov pri gidrobiologicheskikh issledovaniyakh na presnovodnykh vodoyemakh (zoobentos, fitoplankton, bakterioplankton, zooplankton)*]. Leningrad: GosNIORKh, 1984b:32.
24. Guidelines for the collection and processing of materials for hydrobiological studies in freshwater reservoirs: zooplankton and its products [*Metodicheskiye rekomendatsii po sboru i obrabotke materialov pri gidrobiologicheskikh issledovaniyakh na presnovodnykh vodoyemakh:*

гидробиологическому мониторингу пресноводных экосистем. 1992 / Ред. В.А. Абакумов. СПб.: Гидрометеоиздат. 318 с.
28. *Семенов А.Д.* 1977. Руководство по химическому анализу вод суши. Л.: Гидрометеоиздат. 540 с.
29. Федеральный закон «Об охране окружающей среды» от 10 января 2002 г. N 7-ФЗ (с изменениями от 19, 29 июля 2018 г.) [Электронный ресурс https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_34823/ (дата обращения 7.01.2023)].
30. *Шитиков В.К., Зинченко Т.Д.* 2011. Статистические методы анализа видовой структуры сообществ (на примере речного макрозообентоса) // Журнал общей биологии. Т. 72. № 5. С. 355-368.
31. *Шитиков В.К., Зинченко Т.Д.* 2013. Изменение таксономического и функционального разнообразия сообществ макрозообентоса по продольному градиенту рек // Успехи современной биологии Т. 133. № 6. С. 566-577.
32. *Шитиков В.К., Зинченко Т.Д.* 2014. Статистический анализ структурной изменчивости донных сообществ и проверка гипотезы речного континуума // Водные ресурсы. Т. 41. № 5. С. 530-540.
33. *Шитиков В.К., Зинченко Т.Д.* 2018. Многомерный статистический анализ экосистем на примере донных сообществ малой равнинной реки. Обзор // Астраханский вестник экологического образования. № 6 (48). С. 110-126.
34. *Шитиков В.К., Зинченко Т.Д., Абросимова Э.В.* 2010. Непараметрические методы

zooplankton i yego produktsiya]. Leningrad: GosNIORKh, 1982:33.
25. Determination of the production of the population of aquatic communities: a guide book [*Opredeleniye produktsii populyatsii vodnykh soobshchestv: uchebno-metodicheskoye posobiye*] / eds. A.F. Alimov, Z.G. Gold. Novosibirsk: Nauka, 2000:63.
26. Features of freshwater ecosystems of small rivers of the Volga basin [Osobennosti presnovodnykh ekosistem malykh rek Volzhskogo basseyna] / eds. G.S. Rosenberg, T.D. Zinchenko. Tolyatti: Kassandra, 2011:322.
27. Guidelines for hydrobiological monitoring of freshwater ecosystems [*Rukovodstvo po gidrobiologicheskomu monitoringu presnovodnykh ekosistem*] / ed. V.A. Abakumov. Saint-Petersburg: Gidrometeoizdat, 1992:318.
28. Semenov AD. Guide to the chemical analysis of land waters [*Rukovodstvo po khimicheskomu analizu vod sushi*]. Leningrad: Gidrometeoizdat, 1977:540.
29. Federal Law No. 7-FZ “On Environmental Protection”, issued on 10/01/2002 (amended on 19/07/2018 and 29/07/2018) [*Federal’nyy zakon “Ob okhrane okruzhayushchey sredy”*]. 2002, Available at https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_34823/ (Date of Access 07/01/2023).
30. Shitikov VK, Zinchenko TD. Statistical methods for analyzing the species structure of communities (on the example of river macrozoobenthos) [Statisticheskiye metody analiza vidovoy struktury soobshchestv (na primere rechnogo makrozoobentosa)]. *Journal of General Biology [Zhurnal obshchey biologii]*. 2011;72 (5):355-368.
31. Shitikov VK, Zinchenko TD. Changes in the taxonomic and functional diversity of macrozoobenthos communities along the longitudinal gradient of rivers [Izmeneniye taksonomicheskogo i funktsional’nogo raznoobraziya soobshchestv makrozoobentosa po prodol’nomu gradiyentu rek]. *Advances in modern biology [Uspekhi sovremennoi biologii].* 2013;133 (6):566-577.
32. Shitikov VK, Zinchenko TD. Statistical analysis of structural variability of benthic communities and testing of the river continuum hypothesis [Statisticheskiy analiz strukturnoy izmenchivosti

сравнительной оценки видового разнообразия речных сообществ макрозообентоса // Журнал общей биологии. № 3. С. 263-274.
35. *Шитиков В.К., Зинченко Т.Д., Головатюк Л.В.* 2021. Модели максимальной энтропии и пространственное распределение видов донных сообществ на территории Среднего и Нижнего Поволжья // Журнал прикладной экологии. № 2 (26). С. 10-16.
36. *Шитиков В.К., Розенберг Г.С., Зинченко Т.Д.* 2005. Количественная гидроэкология: методы, критерии, решения. В 2-х кн. М.: Наука. Кн. 1., 281 с.; Кн. 2., 337 с.
37. *Barbour M.T., Stribling J.B., Carr J.R.* 1995. The Multimetric Approach for Establishing Biocriteria and Measuring Biological Condition. W.S. P. 63-80.
38. *Karlson B., Cusak C., Bresnan E.* 2010. Microscopic and Molecular Methods for Quantitative Phytoplankton Analysis // IOC Manuals and Guides. No. 55. Paris: UNESCO. 110 p.
39. *Leeds-Harrison P.B., Quinton J.N., Walker M.J. Harrison K.S., Tyrrel S.F., Morris J., Mills H.T.* 1996. Buffer Zones in Headwater Catchments // Report on MAFF/English Nature Buffer Zone Project CSA 2285. Silsoe, UK: Cranfield University. 22 p.
40. SCOR-UNESCO, 1966. Determination of Photosynthetic Pigments in Seawater // Monographs on Oceanographic Methodology. Paris: UNESCO. Vol. 1. P. 11-18.
41. *Woodiwiss F.S.* 1964. The Biological System of Stream Classification Used by the Trent Board // Chemistry & Industry. Vol. 11. P. 443-447.

donnykh soobshchestv i proverka gipotezy rechnogo kontinuuma]. *Water Resources [Vodnyye resursy]*. 2014;41 (5):530-540.
33. Shitikov VK, Zinchenko TD. Multivariate statistical analysis of ecosystems on the example of benthic communities of a small flat river: a review [Mnogomernyy statisticheskiy analiz ekosistem na primere donnykh soobshchestv maloy ravninnoy reki: obzor]. *Astrakhan Bulletin of Environmental Education [Astrakhanskiy vestnik ekologicheskogo obrazovaniya]*. 2018;6 (48):110-126.
34. Shitikov VK, Zinchenko TD, Abrosimova EV. Non-parametric methods for the comparative assessment of the species diversity of river communities of macrozoobenthos [Neparametricheskiye metody sravnitel’noy otsenki vidovogo raznoobraziya rechnykh soobshchestv makrozoobentosa]. *Journal of General Biology [Zhurnal obshchey biologii]*. 2010;3:263-274.
35. Shitikov VK, Zinchenko TD, Golovatyuk LV. Models of maximum entropy and spatial distribution of species of benthic communities in the Middle and Lower Volga region [Modeli maksimal’noy entropii i prostranstvennoye raspredeleniye vidov donnykh soobshchestv na territorii Srednego i Nizhnego Povolzh’ya]. *Journal of Applied Ecology [Zhurnal prikladnoy ekologii]*. 2021;2 (26):10-16.
36. Shitikov VK, Rozenberg GS, Zinchenko TD. Quantitative Hydroecology: Methods, Criteria, Solutions [*Kolichestvennaya gidroekologiya: metody, kriterii, resheniya*], 2 books. Moscow: Nauka, 2005;1:281;2:337.
37. Barbour MT, Stribling JB, Carr JR. The Multimetric Approach for Establishing Biocriteria and Measuring Biological Condition. W.S. 1995:63-80.
38. Karlson B, Cusak C, Bresnan E. Microscopic and Molecular Methods for Quantitative Phytoplankton Analysis. *IOC Manuals and Guides*. 2010;55:110.
39. Leeds-Harrison PB, Quinton JN, Walker MJ Harrison KS, Tyrrel SF, Morris J, Mills HT. Buffer Zones in Headwater Catchments. Report on MAFF/English Nature Buffer Zone Project CSA 2285. Silsoe, UK: Cranfield University, 1996:22.
40. SCOR-UNESCO. Determination of

42. SCOR-UNESCO, 1966. Determination of Photosynthetic Pigments in Seawater // Monographs on Oceanographic Methodology. Paris: UNESCO. Vol. 1. P. 11-18.
43. Доклад об особенностях климата на территории Российской Федерации за 2017 год. 2018. Москва 69 с. [Электронный ресурс http://www.igce.ru/wp-content/reports/Доклад2017%20о%20климате%20РФфинSam.pdf (дата обращения 07.01.2023)].

Photosynthetic Pigments in Seawater. Monographs on Oceanographic Methodology. Paris: UNESCO, 1966;1:11-18.
41. Woodiwiss FS. The Biological System of Stream Classification Used by the Trent Board. *Chemistry & Industry*. 1964;11:443-447.
42. SCOR-UNESCO. Determination of Photosynthetic Pigments in Seawater. Monographs on Oceanographic Methodology. Paris: UNESCO, 1966;1:11-18.
43. Report on climate features in the Russian Federation for 2017 [*Doklad ob osobennostyakh klimata na territorii Rossiyskoy Federatsii za 2017 god*]. Moscow, 2018:69, Available at http://www.igce.ru/wp-content/reports/Доклад2017%20о%20климате%20РФфинSam.pdf (Date of Access 07/01/2023).

CONDITION OF PLANKTON AND BOTTOM COMMUNITIES OF THE LOWLAND USA RIVER (BASIN OF THE MIDDLE VOLGA RIVER, KUYBYSHEV RESERVOIR) UNDER CLIMATE CHANGES

T.D. Zinchenko*, E.V. Abrosimova*, O.G. Gorokhova*, L.V. Golovatyuk*, R.S., Kuznetsova*, S.E. Bolotov**

**Institute of Ecology of the Volga River Basin of the Russian Academy of Sciences*
10, Komzina Str., Togliatti, Samara Region, 445003, Russia. E-mail: zinchenko.tdz@yandex.ru
***I.D. Papanin Institute for Biology of Inland Waters of the Russian Academy of Sciences*
109, Borok, Nekouzsky District, Yaroslavl Region, 152742, Russia. E-mail: ibiev@mail.ru

Received March 28, 2022. Revised May 31, 2023. Accepted Juni 01, 2023.

We studied the specific features of spatial and structural variability of plankton and bottom communities of the small lowland river Usa, a tributary of the Kuibyshev Reservoir, as part of comprehensive studies of the ecological condition and water quality of the river. Based on the results of 2017-2018 studies, we established the type of spatial distribution of phytoplankton, zooplankton and macrozoobenthos community species along the longitudinal profile of the river with regard to hydrochemical indicators.

A comparative analysis of changes in the species richness of plankton and bottom communities and assessments of the ecological state of river with regard to the spatial variability of species diversity and quantitative characteristics was carried out. Based on the results of changes in the number and biomass of the main taxonomic groups using different methodological approaches to study the dynamics of hydrobiological indicators, their non-stationarity and the existence of regular trends depending on hydrological and hydrochemical factors were established.

The biodiversity of summer plankton algocenoses of the Usa River depending on hydrological conditions, anthropogenic influence, and changes in the content of biogenic substances was assessed for the first time. 201 algoflora taxons ranked below genus from 7 algae divisions have been identified. The dominant ones are Bacillariophyta (56% of the composition) and Chlorophyta (28%). In the limnoplankton of the Usinsk Bay the species ratio in the composition of algae divisions changes in the direction of increasing share of green algae – Chlorophyta (45%). The proportion of Cyanoprokaryota varies from 4% in the Usa River to 12% in the Usinsk Bay.

It was found that the spatial dynamics of algocenosis structure in the Usa River is characterized by an increase in species diversity, abundance, biomass, chlorophyll-«a» content from the source to the mouth. Correlation analysis revealed reliable relations ($P \leq 0.05$) between flow velocity, chlorophyll-«a» concentration, abundance, specific number of species, biomass ($r = -0.65$, $r = -0.69$, $r = -0.82$, $r = -0.79$, respectively). In terms of biomass and chlorophyll-«a» concentration, the trophic state of rivers in the upper and middle reaches is oligotrophic, in the estuaries - oligo-mesotrophic, in the Usinsk Bay water masses correspond to mesotrophic type. The main pollutant throughout the river is the concentration of total P (7-18 MAC), which is accompanied by an increase in the proportion of myxotrophic phytoflagellates – indicators of organic pollution. The increase in the number and biomass of phytoplankton in 2017 is due to the high content of biogenic elements (N, P).

Zooplankton of the Usa River water system includes 45 species, of which there are 28 Rotifera, 13 Copepoda and 4 Cladocera. Composition of zooplankton is typical for Volga basin water bodies and is represented by phytophilic and planktonic rotifers, planktobenthic crustaceans of *Alona* genus. For the first time in zooplankton of the mouth zone of the Usa River an invasive species, rotifer *Kellicottia bostoniensis* (Rousselet, 1908) – inhabitant of water bodies of northern latitudes was registered. The highest values of zooplankton abundance were recorded in the deep-water section of the “river – reservoir”, where the number and biomass of zooplankton reached 0.4 thousand ex/m^3 and 5.4 g/m^3 with predominance of holarctic *Daphnia galeata* (G.O. Sars, 1864). Dynamism of hydrophysical and hydrological parameters determines longitudinal distribution of quantitative and structural indicators of planktonic organisms communities by ecocline type in conditions of inhabiting meso-eutrophic water masses.

The spatial variability of plankton and bottom communities has been established, taking into account local biotopic variability determined by the landscape geomorphology features and the regular trend of quantitative indicators of biotic communities taxocenes.

Assessment of water quality and ecological state of the watercourse was performed using integral methods and metrics. The obtained results of the water quality assessment of the Usa River can be used as a reference for calculating the multi-metric indicators of the ecological state of typologically similar small plain rivers.

Keywords: Usa river, small rivers, plankton and bottom communities, taxonomic diversity, abiotic factors, spatial distribution, ecological state, water quality, the basin of the Kuibyshev reservoir (Middle Volga Basin, Russia).

Funding. This work was carried out as part of the state task No. AAAA-A17-117112040040-3 for the Institute of Ecology of the Volga River Basin of the Russian Academy of Sciences “Assessment of Modern Biodiversity and Forecast of Its Change for the Ecosystems of the Volga Basin under the Conditions of their Natural and Anthropogenic Transformation”, and No. 121051100109-1 for the Papanin Institute for Biology of Inland Waters “Systematics, Diversity, Biology and Ecology of Aquatic and Semiaquatic Invertebrates, Structure of Populations and Communities in Continental Waters”, as well as it was supported financially by the Russian Foundation for Basic Research (grants No. 17-04-00135 and 17- 44-63019) “Ecosystem Diversity of Lowland Rivers in the Middle Volga Basin under Current Conditions of Climate Change and Anthropogenic Impact”.

DOI: 10.24412/2542-2006-2023-2-137-175

EDN: HGMMEE