

муниципальное бюджетное образовательное учреждение
дополнительного образования
Центр детского и юношеского творчества
Староюрьевского района Тамбовской области

Региональный этап Всероссийского конкурса
юных исследователей окружающей среды «Открытия 2030»

Номинация «Экологический мониторинг»

ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКАЯ РАБОТА
МОНИТОРИНГ
ЭКОЛОГИЧЕСКОГО
СОСТОЯНИЯ МАЛЫХ РЕК
СТАРОЮРЬЕВСКОГО РАЙОНА

Автор: Дрокова Валерия Сергеевна,
учащаяся творческого объединения
«Экологический клуб «Терра»,
9 класс

Руководитель: Беленова Ирина Ивановна,
педагог дополнительного образования

с. Староюрьево
2022

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	
Актуальность работы	5
Цель работы	5
Задачи исследования	5
Объект, предмет и методы исследования	6
Гипотеза и сроки проведения работы	6
Краткий литературный обзор	6
ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ	
1. Общая характеристика водных объектов	8
2. Методы исследования	9
2.1 Определение морфологических параметров водных объектов	9
2.2 Определение качества воды по органолептическим показателям	10
2.3 Определение биотического индекса на основе макрозообентоса по Вудивиссу (индекс ТВІ)	10
2.4 Определение окисленности/восстановленности водной среды с помощью автофотографий на фотобумаге	12
2.5 Определение органического загрязнения реки по аппликациям деятельности ферментов-протеаз на рентгеновской плёнке	13
РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ОБСУЖДЕНИЕ	13
ВЫВОДЫ	17
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	17
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ	18
ПРИЛОЖЕНИЯ	19

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность исследования

На территории Староюрьевского района Тамбовской области протекает семь малых рек: Лесной Воронеж и являющиеся его притоками Ситовка, Шушпанка, Вишнёвка с впадающими в нее Большой Вишнёвкой, Ржавцом (правым), Хоботцом (правым). Экологическая роль малых рек заключается в водном питании более крупных водных артерий области и России. Так, река Лесной Воронеж вливается в реку Воронеж, который несет свои воды в одну из крупнейших рек Тамбовской области - Ворону, принадлежащую к Окско-Донскому бассейну.

Вода - самое распространенное неорганическое соединение на нашей планете. Она является основой всех жизненных процессов и источником кислорода в круговороте биогенных элементов. Все процессы, которые происходят в клетках живых организмов, осуществляются при ее участии.

Экологическое состояние любого природного водоема со временем ухудшается: происходит разрушение берегов, почва с потоками талой воды попадает в реку и превращается в ил. Отмирающая растительность оседает, дно реки зарастает, вода теряет прозрачность, меняет цвет и запах. Водоем мелеет, некоторые виды флоры вытесняются водорослями и ряской. Развитие гнилостных процессов вызывает кислородное голодание и еще сильнее ухудшает состояние реки. Для сохранения экосистемы водоема крайне важно свободное течение.

На сокращение запасов пресной воды оказывает влияние и техногенная деятельность человека. Состояние поверхностных вод зависит от условий эксплуатации непосредственно водоема и прилегающей к нему территории [3]. В 2005 году экосистема реки Шушпанка претерпела изменения из-за реконструкции моста на автомобильной трассе Тамбов-Староюрьево-Сосновка-Шацк. На реках Лесной Воронеж в 2009 году и Ситовка в 2021 году проводились работы по очистке русла. До 1990-х годов прошлого столетия по берегам данных водоемов велось активное земледелие.

Экологический клуб «Терра» ведет наблюдение за состоянием трех рек Староюрьевского района (Лесного Воронежа, Шушпанки и Ситовки) с 2004 года. В данной работе отслеживается динамика экологических показателей этих природных водоемов.

Цель работы: проведение мониторинга экологического состояния малых рек Староюрьевского района.

Задачи исследования:

отследить возможные изменения морфологических характеристик водоемов;

провести оценку качества воды с помощью гидробиологических методов; выявить возможные последствия антропогенного воздействия на экосистемы исследуемых рек;

привлечь внимание к проблеме сохранения малых рек.

Объект исследования: исследования проводились на девяти створах в бассейне реки Лесной Воронеж на территории Староюрьевского района. Три створа располагались на реке Лесной Воронеж у сел Заборонежское, Староюрьево (центр), Подгорное; три - на реке Шушпанка в нижнем бьефе Шушпанского водохранилища и у села Староюрьево (восток и юг); три - на реке Ситовка у сел Новоюрьево, Поповка и деревни Чугуновка (*приложение 1*).

Предмет исследования: экологическое состояние водных экосистем.

Методы исследования: наблюдение, изучение научной, справочной, методической литературы и Интернет-ресурсов, эксперимент, анализ статистических данных, сравнение и прогнозирование.

Гипотеза работы: динамика экологического состояния малых рек Лесной Воронеж, Шушпанка, Ситовка имеет отрицательные показатели.

Сроки проведения работ: работа носит прикладной характер и отражает результаты мониторинга экологического состояния малых рек Староюрьевского района за 2021 год с учетом результатов 2004, 2006, 2010, 2014 и 2017 годов.

Краткий литературный обзор

Качество природных вод в настоящее время формируется под действием разнородной нагрузки – как естественной, так и антропогенной [2].

Для определения степени загрязненности водоема, а также при оценке качества воды, употребляемой для различных целей, применяют физико-химические и биологические методы. Каждая группа методов обладает своими преимуществами и недостатками, нельзя отдать предпочтение одной из них [8].

Характерной особенностью малых водоемов является их тесная связь с окружающей территорией (ландшафтом) (Калесник, 1973, Дудник, 1980) . По сравнению с другими типами водных объектов малые водоемы являются наиболее уязвимыми в условиях интенсивной антропогенной нагрузки (Борисов, Лобуничева, 2012). В связи с этим разработаны и апробированы различные методы оценки гидрометрических характеристик изучаемых водотоков (Калинин, 2008, Лобуничева, 2013) [6].

Общепринятые схемы стандартного физико-географического описания местности (ландшафта) (Боголюбов, 1997, Максимова, 2003 и др.) включают в себя описание конкретного ландшафта с указанием характерных особенностей водного объекта (мелководность, рельеф берегов, дна, ширина и глубина объекта и т.д.) [11]. Гидрологический режим водных объектов является комплек-

сом основных абиотических компонентов экосистемы, определяющих условия обитания гидробионтов: прозрачность и цвет воды, запах, pH среды [7, 10]. По комплексу показателей химического состава воды можно оценить экологическое состояние водоемов (Лобуничева, 2013).

Закономерной и общемировой тенденцией является активное развитие биологических методов контроля, основанных на поведенческих, физиологических и биохимических реакциях организмов на тот или иной вид загрязнения. Так, согласно Водно-Рамочной Директиве Европейского Союза (2000) именно биологические методы признаются основой контроля за состоянием водных экосистем [3].

Методы биоиндикационной оценки качества вод имеют длительную историю. Так, в 1850 г. в Лондоне была опубликована монография Хессела, в которой автор давал оценку качества воды по организмам фитопланктона и зоопланктона. Классическая система показательных организмов была создана ботаником Р.Кольквитцем и зоологом М.Марссоном (1902). Они предложили идею оценки состояния водных экосистем с помощью сапробности - способности организмов развиваться при большем или меньшем содержании в воде органических загрязнений. В дальнейшем были созданы многочисленные системы и индексы оценки сапробности водного объекта (Чертопруд, Маргалев, Вудивисс, Гуднайт и Уитли и др.).

Расчет индекса сапробности водоема по макрозообентосу, предложенный Вудивиссом (1964), является одним из наиболее распространенных индексов, используемых как в России, так и за рубежом [4]. Большая ценность метода заключается в сравнительной легкости идентификации указанных таксономических групп, что может делать и не специалист-систематик. Однако индекс имеет ряд недостатков: он территориально ограничен по применению (в конкретных водотоках структуру индекса приходится корректировать соответственно составу местного бентоса по усмотрению исследователя).

Оценка устойчивости донного грунта к загрязнению определяется возможностью окисления поступающих в водоток загрязнителей до конечных продуктов разложения. Можно выделить два основных фактора, определяющих буферную емкость донного грунта. Это наличие достаточного количества кислорода для окисления загрязнителей и наличие микроорганизмов, способных разлагать сложные органические соединения до более простых, усваивая последние. Оценка окислительно-восстановительных условий среды в донном грунте, а также наличие и активность микроорганизмов-деструкторов, позволяет судить об устойчивости донного грунта к загрязнениям, поступающим в водоток [1].

Разложение органических остатков в донных отложениях происходит вследствие деятельности микроорганизмов, групповой состав которых зависит от уровня окисленности среды. В связи с этим микроорганизмы могут служить биоиндикаторами окислительно-восстановительных условий в указанном субстрате (Татарина, 1997). В окисленных средах, содержащих достаточное количество кислорода, преобладают аэробные микроорганизмы. В средах, где кислорода мало и содержатся восстановители, развиваются преимущественно анаэробы [12].

Белковые соединения разлагаются многими бактериями, грибами с помощью протеолитических ферментов (протеаз), вырабатываемых микроорганизмами. Под действием протеаз сложная молекула белка распадается на ряд более простых соединений, которые усваиваются микроорганизмами. Медленное гниение органических остатков на дне водоема снижает устойчивость экосистемы. Донные отложения водоемов, имеющие высокую активность протеолитических ферментов, экологически более стабильны к органическому загрязнению. Взаимосвязь способности донных отложений самоочищаться от белкового загрязнения с численностью микроорганизмов, вырабатывающих протеазы, может служить в качестве биоиндикационного метода оценки экологического состояния водоема (Мишустин, Востров, 2000). Биоиндикаторами выступают микроорганизмы-продуценты протеаз, а параметром индикации - протеолитическая активность донного грунта [9].

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

1. Общая характеристика водных объектов

Лесной Воронеж - правый приток реки Воронеж. Исток расположен в Рязанской области северо-восточнее деревни Воронежские Верхи. Длина - 164 км (в пределах Тамбовской области - 130 км, Староюрьевского района - 62 км). Площадь бассейна – 2140 км². Течёт с севера на юг, пересекая Староюрьевский и Мичуринский районы. В верховьях постоянный водоток только весной. От села Мезинец в 25 км от истока водоток имеет ширину 6-10 метров, глубину 0,4-0,7 метра. Пойма в верховьях луговая, шириной 50-80 метров, неровная, пересечена ложбинами, староречьями, озерами, заболоченная (*приложение 2*).

Принимает 17 притоков. В бассейне 9 рек длиной более 10 км, 8 речек, притоков - менее 10 км с общей длиной в 34 км. На водосборе много озер (47) и прудов. Густота речной сети составляет 0,22 км/км² [5].

Шушпанка - левый приток Лесного Воронежа. Исток расположен на севере Староюрьевского района около ныне не существующего села Шушпан-Ольшанка. В верховьях Шушпанка имеет два русла: одно - постоянное, второе - перемежающееся, постоянный водоток в котором только весной. Длина реки -

28 километров. Площадь бассейна - 186 км². Течёт с севера на юг, огибая село Староюрьево с восточной стороны. Место впадения в Лесной Воронеж расположено в 0,3 километра южнее села. Притоков не имеет (до 1974 года насчитывалось около 14). В верховье ширина русла 2-3 метра, пойма луговая, шириной 30-50 метров, в русле много заболоченных понижений с зарослями ивы и осоки. К устью русло расширяется более 20-30 метров, а пойма - до 500 м, покрыта лугами, местами распахана, изобилует ложбинками, болотами. Название реки происходит от слова «шуша» - камыш (*приложение 2*).

На реке создано Шушпанское водохранилище: длина при наиболее низком уровне составляет 7,5 км, ширина – 750 м, объем – 14 млн. м³, площадь зеркала - 530 га² (*приложение 1*). Водоохранилище используется для орошения, рекреации, рыболовства, является местом обитания водоплавающих птиц [5].

Ситовка - левый приток Лесного Воронежа. Длина реки 37 км, площадь водосбора 264 км². Река берет начало на северо-западе Сосновского района (села Стрелки, Новоямское) на границе с Рязанской областью и впадает в Лесной Воронеж в 5 км ниже села Староюрьево. В верховье ширина русла 1-2 метра, пойма луговая, шириной 30-50 метров, в русле много болот. К устью русло расширяется более 30-40 метров, а пойма - до 350 м, покрыта лугами, местами распахана.

Имеет 5 притоков общей длиной 8 км. Название, возможно, происходит от славянского «сит» - осока, камыш и означает место, залитое водой и поросшее осокой (*приложение 2*).

Пополнение русла исследуемых рек определяется зональными климатическими условиями и является типичными для большинства рек Русской равнины. Основным источником питания, поставляющим в реки 50% водных масс, является весеннее снеготаяние. Дождевые осадки и родниковые воды формируют от 20 до 50% годового стока рек. Характерно ярко выраженное весеннее половодье, продолжающееся 4-5 суток максимум в апреле. Начало ледостава происходит в третьей декаде ноября и продолжается 4-5 месяцев [5].

2. Методы исследования

2.1. Определение морфологических параметров водных объектов

Местоположение исследовательских створов определялось исходя из следующих принципов. Лесной Воронеж является самой крупной рекой Староюрьевского района. Створы на нем располагались на примерно равных расстояниях по территории района с севера на юг по течению реки, затрагивая зоны с максимальной антропогенной нагрузкой. Створы на реках Ситовка и Шушпанка были расположены ниже населенных пунктов и Шушпанского во-

дохранилища, оказывающих экологическое воздействие на состояние рек (*приложение 1*).

На каждом створе были проведены гидрометрические исследования – определение ширины, глубины и скорости течения реки. Промеры глубин и высоты донных залегающих проводились через каждые 5 м с помощью толстой капроновой нити, размеченной через каждые 50 см, с грузом на конце. Ширину измеряли веревкой, которая также удерживала линию при измерении глубин. Скорость течения измерялась методом поплавков [10,11].

2.2. Определение качества воды по органолептическим показателям

Прозрачность воды: характеризует наличие в воде взвешенных частиц. Определялась методом различения через слой воды в стеклянном тубусе на белой бумаге шрифта определенного размера и типа (шрифт Снеллина). Прозрачность воды выражается в сантиметрах. Норма – 5 см.

Цвет воды: наблюдался сверху и сбоку от прозрачного стеклянного цилиндра с пробой воды (не менее 40 мл) на фоне листа белой бумаги. Цвет воды определяется в градусах. Норма - 40° (вид сверху – нет окрашивания, вид сбоку – нет окрашивания или слабое желтое).

Запах воды и его интенсивность: проба подогревалась в закрытой пробирке на спиртовке до 50-60°С, затем пробка вынималась и определялся характер и интенсивность запаха по пятибалльной шкале. Норма - нет запаха.

pH воды: показывает величину концентрации ионов водорода, от которой зависит развитие и жизнедеятельность водных растений. Определялся с помощью универсальной индикаторной бумаги, которую опускали в исследуемую пробу, выдерживали около 15 секунд и сравнивали ее цвет со стандартной шкалой [7,8].

2.3. Определение биотического индекса на основе макрозообентоса по Вудивиссу (индекс ТВІ)

Индекс был разработан Вудивиссом (1964) для индикации воды небольшой английской реки Трент. Отсюда его название – Trent Biotic Index (ТВІ).

Макрозообентос - это совокупность беспозвоночных животных (с размером тела более 2 мм), населяющих дно водоема и водную растительность. Макрозообентос является важной функциональной частью гетеротрофного компонента водных экосистем: он участвует в процессах трансформации вещества с использованием солнечной энергии. Виды гидробионтов распределены в водоемах не случайно, а в соответствии с определенными для них условиями обитания. По наличию, состоянию и поведению индикаторных организмов макрозообентоса можно судить об изменениях в водной среде.

Сущность метода заключается в сравнительной идентификации групп беспозвоночных. За «группу» принимается:

- любой вид плоских червей;
- класс малощетинковые черви (кроме рода *Nais*);
- род *Nais*;
- любой вид моллюсков, пиявок, ракообразных, водяных клещей;
- любой вид веснянок, сетчатокрылых, жуков;
- любой род поденок, кроме *Baetis rhodani*;
- любое семейство ручейников и поденки *Baetis rhodani*;
- семейство комаров-звонцов (личинки) кроме *Chironomus sp.*;
- Chironomus sp.*;
- личинки мошки (семейство *Simuliidae*);
- каждый известный вид личинок других летающих насекомых.

Для нахождения индекса, в пробе определяют число данных групп организмов. Затем, пользуясь рабочей шкалой, приведенной в таблице, находят соответствующий столбец. По установленному столбцу необходимо спуститься до пересечения со строкой обнаруженной индикаторной группы. Проверку нужно начинать сверху - с личинок веснянок. Значение в ячейке пересечения и будет искомым индексом [4].

Рабочая шкала для определения биотического индекса Вудивисса

Показательные организмы	Видовое богатство	Число групп в пробе				
		0-1	2-5	6-10	11-15	≥16
Личинки веснянок (<i>Plecoptera</i>)	больше 1 вида	-	7	8	9	10
	только 1 вид	-	6	7	8	9
Личинки поденок (<i>Ephemeroptera</i>)*	больше 1 вида*	-	6	7	8	9
	только 1 вид*	-	5	6	7	8
Личинки ручейников (<i>Trichoptera</i> **)	больше 1 вида**	-	5	6	7	8
	только 1 вид**	-	4	5	6	7
Гаммарусы (<i>Gammarus sp.</i>)	любое	3	4	5	6	7
Водяной ослик (<i>Asellus aquaticus</i>)	любое	2	3	4	5	6
<i>Oligochaeta, Chironomus</i>	любое	1	2	3	4	-
Все приведенные выше группы отсутствуют	-	0	1	2	-	-
* – исключая вид <i>Baetis rhodani</i>						
** – включая вид <i>Baetis rhodani</i>						

По индексу Вудивисса выделено лишь 4 градации:

0-2 балла - полисапробная зона. Характеризуется обилием сложных биохимических соединений. Свободный кислород почти отсутствует, биохимические процессы носят восстановительный характер. В воде накапливаются сероводород, углекислота, метан, аммиак. Основу населения составляют сапрофит-

ные бактерии, численность которых достигает многих сотен миллионов клеток в 1 мл воды. Многочисленны бесцветные жгутиковые и грибы. Из более высокоорганизованных форм встречаются олигохеты *Tubifex tubifex* и личинки мухи *Eristalis tenax*. Число видов, обитающих в полисапробных водах, невелико, но развиваются они в огромных количествах;

3-5 баллов - α -мезосапробная зона. По характеру биохимических процессов близка к полисапробной, но здесь уже присутствует свободный кислород. В результате распада органических соединений в воде в больших количествах содержится аммиак и аминокислоты. Основную группу качественно бедного населения составляют сапрофитные бактерии, количество которых достигает многих десятков миллионов клеток в 1 мл воды. Большое распространение имеют бесцветные жгутиковые, грибы, инфузории. В этой зоне встречаются коловратки, некоторые представители зеленых и синезеленых водорослей. В донных осадках в больших количествах обитают олигохеты из семейства *Tubificidae* и личинки комара *Chironomus plumosus*;

6-7 баллов - β -мезосапробная зона. Отличается преобладанием окислительных процессов над восстановительными. Благодаря интенсивному фотосинтезу многочисленных растений летом воды бывают перенасыщены кислородом. Преобладают такие продукты минерализации органических веществ, как аммонийные соединения, нитриты и нитраты. Содержание органических веществ ничтожно. Население отличается большим видовым разнообразием. Численность сапрофитных бактерий составляет лишь 20–30 млн. клеток в 1 мл воды. В водах этой зоны многочисленны коловратки, низшие ракообразные, насекомые, моллюски и рыбы;

8-10 баллов - олигосапробная зона. Она полностью свободна от загрязнения и обычно перенасыщена кислородом. Население наиболее разнообразно в видовом отношении, но количественно значительно беднее, чем в предыдущих зонах [4].

Однако, оценка качества воды по величине индекса Вудивисса, в соответствии с ГОСТ 17.1.387-82 «Классификация качества воды водоемов и водотоков по гидробиологическим и микробиологическим показателям» предусматривает выделение 6 классов: 0-1 – очень грязная; 2-3 – грязная; 4 – загрязненная; 5-6 – умеренно загрязненная; 7-9 – чистая; 10 – очень чистая.

2.4. Определение окисленности/восстановленности водной среды с помощью автофотографий на фотобумаге

Метод позволяет оценить насыщенность водной среды кислородом. Уровень восстановленности донных отложений можно ориентировочно определить с помощью аппликационного метода - автографии на фотобумаге [12]. Метод

основан на восстановлении бромистого серебра, находящегося в эмульсии за-
свеченной фотобумаги, веществами изучаемого донного грунта. При этом в
эмульсионном слое бумаги образуется множество частиц металлического се-
ребра в виде чёрных и бурых пятен. Они фиксируют деятельность анаэробных
микроорганизмов, появляющихся при недостатке кислорода в воде. Аэробы
цвет фотобумаги не изменяют; она остается практически белой. На полученных
отпечатках, называемых автографиями, распределение окисленных и восста-
новленных зон носит очаговый характер.

Полоски фотобумаги размером 4x8 см выдерживают 15 минут на свету и
помещают в ёмкости с грунтом на 72 часа. После указанной экспозиции бумагу
промывают сначала в проточной, затем в дистиллированной воде, закрепляют в
фиксаже и высушивают эмульсией кверху.

2.5. Определение органического загрязнения реки по аппликациям деятельности ферментов-протеаз на рентгеновской плёнке

Для изучения активности протеаз применялся аппликационный метод,
разработанный Е.Н. Мишустиным и И.С. Востровым [9] в модификации Л.Ф.
Татариной [12]. В качестве индикатора протеазной активности метод преду-
сматривает использование рентгеновской пленки, эмульсия которой разрушает-
ся микроорганизмами. Основу эмульсии составляет желатин (денатурирован-
ный белок коллаген), который служит питательной средой для микроorganiz-
мов-протеаз, ферментативно разрушающих белки. Метод позволяет оценить
уровень активности протеолитических ферментов в донном грунте и устано-
вить способность экосистемы реки к самоочищению от органического (белко-
вого) загрязнения.

Проявленную рентгеновскую плёнку нарезают полосками 2x5 см и поме-
щают в пробу на 72 часа (температура не более 20 С). Затем плёнку осторожно
вынимают пинцетом и прополаскивают в проточной воде, просушивают на
фильтровальной бумаге. В донном грунте с высокой протеазной активностью
на большей части поверхности пленки наблюдается значительное разрушение
желатинового слоя. При малой активности протеолитических ферментов пора-
женные участки видны в виде точек и разрозненных матовых пятен малых раз-
меров. Протеазная активность вычисляется отношением площади разрушен-
ного слоя к общей площади пленки путем создания проекции на миллиметро-
вой бумаге [9].

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ОБСУЖДЕНИЕ

Анализ полученных данных выявил признаки деградации экосистем ис-
следуемых малых рек.

Лесной Воронеж. При анализе полученных результатов можно наблюдать следующую закономерность: с 2004 по 2009 год происходило постепенное снижение экологических показателей водоема, с 2010 по 2014 год состояние реки стабилизировалось, с 2017 года водная экосистема снова начала деградировать.

Изменения гидрометрических показателей реки с 2004 по 2009 год: средняя ширина водоема уменьшилась с 40 до 12 м, средняя глубина – с 3,1 до 1,5 м, скорость течения – с 1,1 до 0,9 м/с. Высота илистых донных отложений у берегов возросла от 40 до 60 см. Состояние речного дна с песчаного изменилось на илистое (*приложение 3*).

Органолептические показатели за данный промежуток наблюдений также дали отрицательные значения: градус цветности воды изменился с 10 до 60 (при норме 40°), снизилась прозрачность с 8 до 3 сантиметров водяного столба в пробирке, появился болотный запах. Сдвиг водородного показателя в сторону кислотности показывал переход реки с родникового питания на болотное (*приложение 4*).

Проведенная оценка качества воды по макрозообентосу в 2004 и 2006 годах показала изменение содержания таксонов беспозвоночных, являющихся биоиндикаторами чистоты водоема – исчезли раки, беззубки, веснянки. Используя таблицу, составленную Вудивиссом [14], полученные данные были сопоставлены с вычисленным индексом сапробности и с шестиклассной системой оценки качества вод, положенной в основу ГОСТ 17.1.3.07-82: класс воды снизился с 7 (чистая вода) до 5 (умеренно-чистая) (*приложение 5*).

Данные изменения существовали еще до начала мониторинговых наблюдений и происходили из-за естественного старения водоема, так как распашку полей вблизи Лесного Воронежа вести невозможно из-за ежегодной изменчивости русла и обилия стариц, массовый выпас скота по берегам прекратили с 1990-х годов.

Подъем экологических показателей реки в 2010-2014 годах связан с проведением очистных работ на Лесном Воронеже в 2009 году. Вода и донный ил из реки были полностью вычерпаны на берег водоема, а русло выпрямлено и углублено с помощью экскаватора (*приложение 2*). Гидрометрические и органолептические показатели экосистемы улучшаются, индекс сапробности повышается до 8 (чистая вода), так как в экосистему реки возвращаются таксономические группы беспозвоночных-индикаторов чистой воды (риакофила, веснянки, беззубки и перловицы) (*приложение 3,4,5*).

Однако эффект носил временный характер: ил, поднятый со дна реки на пойменную территорию, вновь был смыт грунтовыми и паводковыми водами. С 2017 года река начинает деградировать, и летом 2021 года ширина реки со-

ставляет 15 м, глубина – 2,2 м, скорость течения – 0,4 м/с. Практически все значения индекса сапробности имеют значения четвертого класса качества вод – загрязненные.

При определении устойчивости водоема к загрязнению учитывались окислительно-восстановительные возможности донного грунта и активность микроорганизмов, выделяющих протеолитические ферменты, полученные в результате интегральной оценки створов. Анализ окислительно-восстановительных условий в донном грунте показал, что в исследуемых створах Лесного Воронежа процессы окисленности и восстановленности среды в целом сбалансированы. Количество анаэробов в донном грунте увеличивается к 2006 году с 12 до 40%, снижается до 10% в 2010 году и возрастает до 65% в 2021 году (*приложение 6,8*).

Активность протеолитических ферментов изменяется аналогично. Желатиновый слой рентгеновской пленки слабо разрушен (2-3%) только в 2006 и 2021 году. Эти показатели говорят о том, что экосистема реки имеет потенциал самовосстановления и самоочищения (*приложение 7,8*).

Ситовка. Река Ситовка является самым чистым из исследуемых водоемов благодаря высокой проточности воды. Однако полученные результаты фиксируют постепенное ухудшение экологических показателей данного водоема с 2004 по 2021 год.

Изменение гидрометрических показателей: средняя ширина водоема уменьшилась с 54 до 21 м, средняя глубина – с 2,8 до 0,7 м, скорость течения – с 1,1 до 0,9 м/с. Высота илистых донных отложений у берегов возросла до 60 см только к 2021 году. Состояние речного дна - песчаное. Органолептические характеристики воды не вышли за пределы нормы. Значение водородного показателя свидетельствует о достаточном родниковом питании реки (*приложение 3,4*).

О деградации экосистемы Ситовки свидетельствует вычисленный индекс сапробности ТВІ, сравненный с ГОСТ: снижение класса воды с 8 (чистая вода) до 3 (грязная). При анализе макрозообентосных таксонов в донном грунте были выявлены трубочник и мотыль в массе. В донном грунте к 2017 годы процессы восстановленности начинают преобладать над окисленностью среды: доля анаэробных микроорганизмов возросла от 8% в 2004 году до 80% в 2017 году. Деятельность протеолитических ферментов за аналогичный период наблюдений снижается с 95% до 5% (*приложение 5-7*). Способность реки к самоочищению прекратилась.

Причиной изменений могла послужить массовая распашка пойменных берегов фермерскими хозяйствами у села Новоюрьево в 2002 году. В верховье

Ситовки в реку стали поступать посторонние органические загрязнители, большинство родников было уничтожено.

Летом 2021 года на реке были проведены очистные работы (участок длиной 400 м в селе Поповка). Полученные результаты отмечают скачок улучшения гидрометрических, органолептических и биоиндикационных показателей (*приложения 3-7*), как и в случае Лесного Воронежа после очистки. Однако проводить аналогию прогноза изменений экологического состояния Ситовки по варианту «резкое улучшение – спад» не следует, так как использовался принципиально иной способ очищения водоема.

Шушпанка. Экосистема данного водоема претерпевала постоянное антропогенное воздействие: строительство Шушпанского водохранилища (1969), сброс органических остатков из отстойников ферм колхоза им. Чапаева (1972), распашка пойменных лугов (1975-1987), прокладка ветки газопровода «Уренгой-Помары-Ужгород» (1980), реконструкция автомобильного моста (2005) и механизмов водосброса водохранилища.

Результаты наблюдений показывают, что на момент начала исследований в 2004 году Шушпанка имела стабильные гидрометрические и органолептические показатели: средняя ширина – 52 м, глубина – 3,3 м, скорость течения – 0,8 м/с, цвет, прозрачность, рН воды соответствовали норме. Эти параметры достигались путем ежегодного весеннего и осеннего сброса воды в Шушпанку из водохранилища. Индекс сапробности по Вудивиссу и ГОСТ показывал 8 класс (чистая вода). Способность к самоочищению была высокой.

Строительные работы в русле реки в с. Староюрьево и на плотине Шушпанского водохранилища в 2005 году, а затем засушливое лето 2010 года способствовали деградации исследуемого водоема. Изменение гидрометрических показателей к лету 2021 года: уменьшение средней ширины реки с 15 до 1,5 м, средней глубины – с 1,4 до 0,7 м, скорости течения с 0,3 до 0,01 м/с. Высота илистых отложений достигла поверхности воды. Русло реки полностью заросло (*приложение 1-3*).

Оценка качества воды по органолептическим характеристикам зафиксировала коричневый цвет и низкую прозрачность воды. Смещение значений водородного показателя в сторону кислотности говорит о переходе реки с родникового питания на питание болотными водами, которые содержат большое количество растворенных гуминовых кислот (*приложение 4*).

Индекс сапробности по Вудивиссу уже в 2006 году опустился до 3 (грязная вода). В пробах макрозообентоса были выявлены таксоны беспозвоночных животных-индикаторов загрязненности водной среды – трубочник, мотыль, личинки вислокрылки (*приложение 5*).

В результате исследований было установлено, что количество темных пятен на автофотографиях на фотобумаге, фиксирующих деятельность анаэробных бактерий в донном грунте с 2006 по 2021 году достигало показателя 80-90% анаэробных организмов, то есть процессы восстановленности водной среды преобладают над окисленностью. Активность протеолитических ферментов в донном грунте Шушпанки также была снижена на всем периоде наблюдений: 11% разрушения желатинового слоя рентгеновской пленки в 2006 году, 2% - в 2017 и 2021 годах (*приложение 6-8*). Полученные данные говорят о полной неспособности реки к самовосстановлению и самоочищению.

ВЫВОДЫ

Анализируя полученные результаты экологического мониторинга, можно сделать следующие выводы:

динамика экологического состояния исследуемых малых рек Староюрьевского района (Лесной Воронеж, Ситовка, Шушпанка) с 2004 по 2021 годы имеет отрицательные показатели;

качество воды исследуемых рек ухудшается с ростом антропогенной нагрузки на водотоки;

механическая очистка русла Лесного Воронежа в 2009 году не дала полной гарантии возврата водной экосистемы в сбалансированное состояние;

проведение очистных работ на реке Ситовка в 2021 году значительно повысило гидробиологические показатели состояния водной экосистемы, однако необходимо дальнейшее наблюдение;

реки Лесной Воронеж и Ситовка способны к самовосстановлению и самоочищению от белкового загрязнения, в донном грунте данных водоемов достаточно кислорода для окисления поступающих загрязнителей, среда грунта преимущественно окисленная и сбалансированная, деятельность донных протеолитических ферментов высока;

экосистема реки Шушпанка уже не способна к восстановлению, о чем свидетельствуют данные мониторинга гидрометрических, органолептических и биоиндикационных показателей, водоем на грани исчезновения.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Работа по мониторингу малых рек Староюрьевского района будет продолжена. Прогноз по итогам мониторинга 2004-2021 годов: изменения водного баланса малых рек бассейна Лесной Воронеж в Староюрьевском районе может негативно сказаться в будущем на общем водотоке региона.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Абакумов В.А. Продукционные аспекты биомониторинга пресноводных экосистем // Продукционно-гидробиологические исследования водных экосистем. Л.: Наука, 1987. С. 51-61.
2. Аргунова, М.В. Экологический мониторинг: метод. рекомендации для учителей к курсу «Экология Москвы и устойчивое развитие» / М.В. Аргунова [и др.]. - М.: Центр «Школьная книга», 2008. С.144.
3. Буковский М.Е., Клоков А.Ю., Калинина Ю.В. Качество воды в реке Цне вблизи г. Моршанска // Фундаментальная наука – ресурс сохранения здоровья здоровых людей: материалы Всероссийского науч. конгресса. Тамбов: Изд-во ТГУ им. Г.Р. Державина, 2008. С. 419-422.
4. Вудивисс Ф. Биологический индекс реки Трент. Макробеспозвоночные и биологическое обследование // Научные основы контроля качества поверхностных вод по гидробиологическим показателям. Л.: Гидрометеиздат, 1977. С.132-161.
5. Дудник Н.И. Природные ресурсы и ландшафт Тамбовской области. Тамбов: Изд-во ТГУ им. Г.Р. Державина, 1980. С.144.
6. Калинин В.М. Экологическая гидрология: учебное пособие. – Тюмень; Изд-во Тюменского государственного университета, 2008. С.148.
7. Ладонникова, А.А. Органолептическая оценка качества воды [Текст] // I Международный конкурс научно-исследовательских и прикладных разработок учащихся Биотоп : сб. иссл. раб. - М., 2010. С. 27-38.
8. Лобуничева Е.В., Борисов М.Я., Филоненко И.В., Филиппов Д.А. Оценка экологического состояния малых водоемов: учебное пособие. – Вологда, 2013. С.218.
9. Мишустин Е.Н., Востров И.С. Аппликационные методы в почвенной микробиологии // Микробиологические и биохимические исследования почв. Киев, 1971.
10. Петин, А.Н. Анализ и оценка качества поверхностных вод [Текст]: учеб. Пособие. - Белгород: Изд-во БелГУ, 2006.
11. Романов, С.А. Основные направления экологических исследований и использование их результатов в преподавании школьного курса географии [Текст] // Современная экология — наука XXI века : материалы междунар. науч.-практ. конф. (17-18 октября 2008 г.) / отв. ред. Е.С. Иванов. - Рязань : РГУ, 2009. С.108.
12. Татарина Л.Ф. Экологический практикум для студентов и школьников. (Биоиндикация водной среды.) М.: Аргус, 1997.

ПРИЛОЖЕНИЯ

ПРИЛОЖЕНИЕ 1

Водоемы бассейна реки Лесной Воронеж в Староюрьевском районе



Карта-схема Староюрьевского района с исследуемыми створами *Лесной Воронеж*: 1-с.Заворонежское, 2-с.Староюрьевое, 3-с.Подгорное; *Шушпанка*: 4-нижний бьеф Шушпанского водохранилища, 5-вход в с.Староюрьевое, 6- устье реки; *Ситовка*: 7-с.Новоюрьевое, 8-с.Поповка, 9-д.Чугуновка



Фото 1. Бассейн реки Лесной Воронеж в Староюрьевском районе – реки Шушпанка, Ситовка, Шушпанское водохранилище (масштаб 1 см 500 м)



Фото 2 . Шушпанское водохранилище, 2017 год



Фото 3 . Шушпанское водохранилище, 2021 год



Фото 4 . Река Шушпанка в нижнем бьефе водохранилища, 2017 год



Фото 5 . Река Шушпанка в нижнем бьефе водохранилища, 2021 год

ОБЩИЙ ВИД НАБЛЮДАЕМЫХ РЕК

Река Лесной Воронеж



Фото 6. Заворонежское, 2004



Фото 7. Староюрьево, 2006



Фото 8. Староюрьево, 2009



Фото 9. Староюрьево, 2014



Фото 10. Подгорное, 2021

Река Шушпанка



Фото 11. Староюрьево, 2004



Фото 12. Староюрьево, 2006



Фото 13. Староюрьево, 2010



Фото 14. Староюрьево, 2014



Фото 14. Староюрьево, 2021

Река Ситовка



Фото 15. Новоюрьево, 2004



Фото 16. Чугуновка, 2006



Фото 17. Поповка, 2010



Фото 18. Поповка, 2017



Фото 19. Поповка, 2021

Основные гидрометрические показатели исследуемых створов

Таблица 1

Река Лесной Воронеж

Параметры водоема	Год исследования																	
	2004			2006			2010			2014			2017			2021		
	1*	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Ширина, м	34	41	45	12	10	14	18	20	35	16	20	28	15	15	21	12	12	24
Скорость течения, м/с	1,1	1,0	1,2	1,0	0,5	0,3	1,5	1,5	1,5	1,1	1,0	0,9	0,8	0,8	0,5	0,5	0,5	0,3
Средняя глубина, м	3,4	2,7	3,1	1,5	1,3	1,7	3,5	2,8	3,2	3,2	1,8	2,6	3,1	1,8	2,3	2,5	1,7	2,4
Донный грунт	Отложения ила черного цвета мощностью до 40 см			Отложения ила черного цвета мощностью до 60 см			Слабые у берегов			Отложения ила черного цвета мощностью до 30 см			Отложения ила черного цвета мощностью до 40 см			Отложения ила черного цвета мощностью до 60 см		
Состояние дна	Песчаное			Песчаное			Песчаное			Илистое			Илистое			Илистое		

(1* - номер створа)

Таблица 2

Река Шушпанка

Параметры водоема	Год исследования																	
	2004			2006			2010			2014			2017			2021		
	1*	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Ширина, м	52	60	45	39	34	25	20	15	12	15	11	10	9	4	4	2	1,5	1,5
Скорость течения, м/с	0,8	0,8	0,7	0,3	0,3	0,1	0,1	0,1	0,1	0,05	0,01	0,05	0,03	0,03	0,01	0,01	0,01	0,01
Средняя глубина, м	3,2	3,6	3,0	1,7	1,3	1,2	1,2	1,5	1,5	1,2	1,5	1,5	1,5	0,8	0,8	1,2	0,5	0,5
Донный грунт	Слабые у берегов			Отложения ила серого цвета мощностью 15 см			Отложения ила черного цвета мощностью до 40 см			Отложения ила черного цвета мощностью до 60 см			Отложения ила черного цвета мощностью до 60 см			Полное заилиение		
Состояние дна	Песчаное			Песчаное			Песчаное			Илистое			Илистое			-		

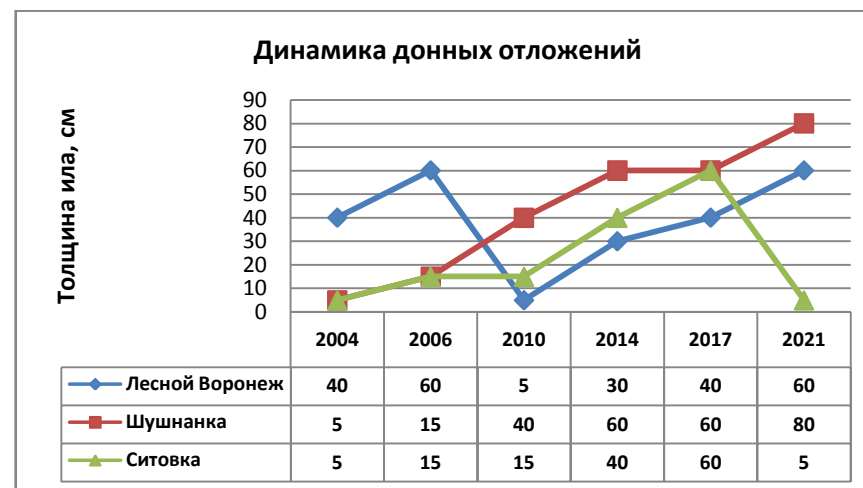
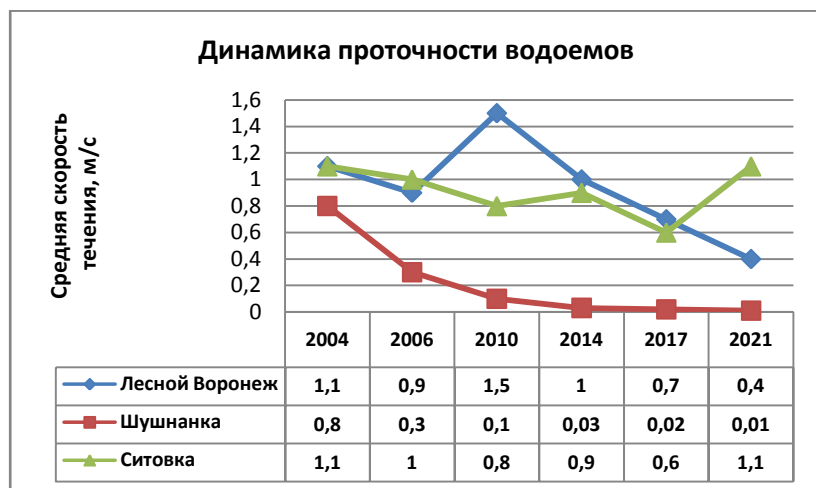
Таблица 3

Река Ситовка

Параметры водоема	Год исследования																	
	2004			2006			2010			2014			2017			2021		
	1*	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Ширина, м	25	70	68	17	48	42	5	40	26	15	38	25	9	30	25	15	43	26

Скорость течения, м/с	1,1	1,1	1,0	1,1	1,0	1,0	0,9	0,8	0,6	1,1	1,0	0,9	0,9	0,5	0,5	1,1	1,2	1,1
Средняя глубина, м	1,8	3,5	3,0	1,7	2,6	2,5	1,2	1,8	2,1	1,2	1,8	1,8	0,8	1,5	1,8	1,2	2,5	2,6
Донный грунт	Слабые у берегов		Отложения ила серого цвета мощностью 15 см			Отложения ила серого цвета мощностью 15 см			Отложения ила черного цвета мощностью до 40 см			Отложения ила черного цвета мощностью до 60 см			Слабые у берегов			
Состояние дна	Песчаное		Песчаное			Песчаное			Илистое			Илистое			Песчаное			

Диаграммы 1-4



Основные органолептические показатели исследуемых створов

Таблица 4

Река Лесной Воронеж

Параметры водоема	Норма	Год исследования																	
		2004			2006			2010			2014			2017			2021		
		1*	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Цвет воды, градусы	40	10	10	20	40	80	60	10	10	10	10	20	40	40	60	60	60	80	40
Прозрачность (высота водяного столба в пробирке), см	5	8	5	5	6	3	3	9	8	9	6	6	5	4	4	5	2	2	4
pH воды	6-7	7	7	7	6	5	4	7	7	7	7	7	7	7	5	6	6	5	6
Запах воды	нет	Слабый болотный			Сильный болотный			Нет			Нет			Слабый болотный			Сильный болотный		

Таблица 5

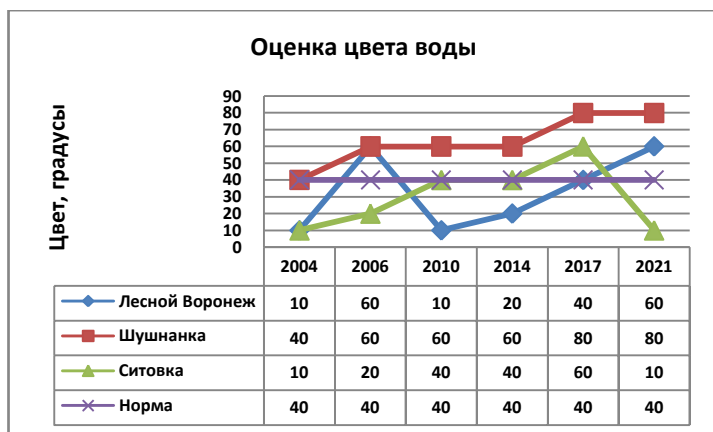
Река Шушпанка

Параметры водоема	Норма	Год исследования																	
		2004			2006			2010			2014			2017			2021		
		1*	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Цвет воды, градусы	40	40	40	40	40	60	80	40	60	80	40	60	60	40	80	80	60	80	80
Прозрачность (высота водяного столба в пробирке), см	5	4	6	6	3	3	3	4	3	3	4	4	3	3	2	2	2	2	2
pH воды	6-7	7	7	7	6	5	4	6	6	6	6	5	5	6	5	5	5	4	4
Запах воды	Нет	Слабый болотный			Сильный болотный			Нет			Нет			Слабый болотный			Сильный болотный		

Таблица 6

Река Ситовка

Параметры водоема	Норма	Год исследования																	
		2004			2006			2010			2014			2017			2021		
		1*	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Цвет воды, градусы	40	10	10	20	20	20	20	40	40	60	40	60	60	80	80	80	10	10	10
Прозрачность (высота водяного столба в пробирке), см	5	8	5	5	6	3	3	5	4	4	6	6	5	4	4	5	8	8	6
pH воды	6-7	7	7	7	7	6	6	5	6	6	5	5	6	5	5	6	7	7	7
Запах воды	Нет	Нет			Нет			Слабый болотный			Сильный болотный			Слабый болотный			Нет		



ПРИЛОЖЕНИЕ 5

Результаты оценки качества воды по макрозообентосу (индекс Вудивисса)

Таблица 6

Река Лесной Воронеж

Параметры водоема	Год исследования					
	2004	2006	2010	2014	2017	2021
Количество обнаруженных индикаторный таксонов беспозвоночных	20	10	17	11	7	7
Класс воды по индексу ТВІ	7 β-мезосапробная зона	5 α-мезосапробная зона 6-7	8 олигосапробная зона	6 β-мезосапробная зона	4 α-мезосапробная зона	4 α-мезосапробная зона
Класс воды по ГОСТу	7 чистая	5 умеренно-чистая	8 чистая	6 умеренно-чистая	4 загрязненная	4 загрязненная

Река Шушпанка

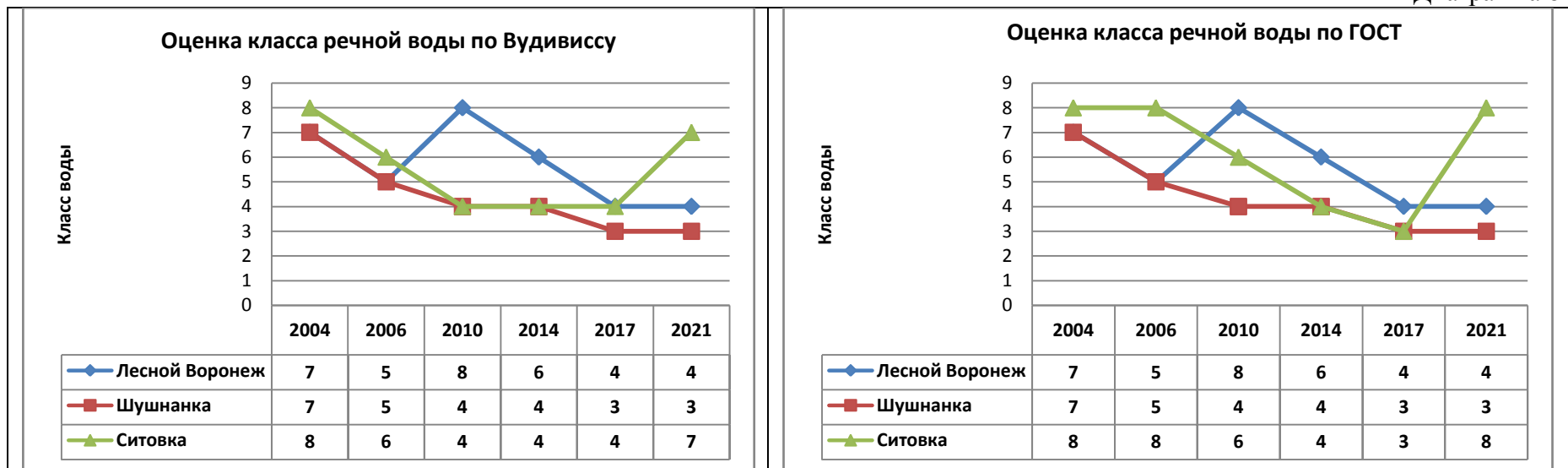
Параметры водоема	Год исследования					
	2004	2006	2010	2014	2017	2021
Количество обнаруженных индикаторный таксонов беспозвоночных	17	14	8	6	5	5

Класс воды по индексу ТВІ	7 β-мезосапробная зона	5 α-мезосапробная зона	4 α-мезосапробная зона	4 α-мезосапробная зона	3 α-мезосапробная зона	3 α-мезосапробная зона
Класс воды по ГОСТу	7 чистая	5 умеренно-загрязненная	4 загрязненная	4 загрязненная	3 грязная	3 грязная

Река Ситовка

Параметры водоема	Год исследования					
	2004	2006	2010	2014	2017	2021
Количество обнаруженных индикаторный таксонов беспозвоночных	24	21	13	7	5	11
Класс воды по индексу ТВІ	8 олигосапробная зона	6 β-мезосапробная зона	4 α-мезосапробная зона	4 α-мезосапробная зона	4 α-мезосапробная зона	7 β-мезосапробная зона
Класс воды по ГОСТу	8 чистая	8 чистая	6 умеренно-загрязненная	4 загрязненная	3 грязная	8 чистая

Диаграмма 8-9



Результаты определения степени восстановленности (окисленности)
донной среды по автофотографиям на фотобумаге

Таблица 8

Название реки	Процент анаэробов в донном грунте					
	2004	2006	2010	2014	2017	2021
Лесной Воронеж						
	12% (окисленная)	40% (сбалансированная)	10% (окисленная)	35% (окисленная)	50% (сбалансированная)	65% (сбалансированная)
Шушпанка						
	30% (окисленная)	80% (восстановленная)	82% (восстановленная)	70% (восстановленная)	90% (восстановленная)	90% (восстановленная)
Ситовка						
	8% (окисленная)	30% (окисленная)	25% (окисленная)	70% (восстановленная)	80% (восстановленная)	10% (окисленная)

Результаты определения органического загрязнения водоемов
по аппликациям деятельности ферментов-протеаз на рентгеновской плёнке

Таблица 9



















Название реки	Активность протеолитических ферментов					
	2004	2006	2010	2014	2017	2021
Лесной Воронеж						
	35%	3%	20%	75%	15%	2%
Шушпанка						
	45%	35%	11%	5%	2%	2%
Ситовка						
	95%	65%	25%	10%	5%	85%

Диаграмма 8-9

