

ENVIRONMENT AND ECOLOGY

UDC 591.5:577.1:556.52(476.5)

Katsnelson E.I., Balaeva-Tikhomirova O.M., Murashevich V.V., Sidorova T. V., Vishnevskaya M.V. Influence of physico-chemical characteristics of the habitat on the biochemical composition of animals living within the floodplain of the river Vitba

Влияние физико-химических характеристик среды обитания на биохимический состав животных, обитающих в пределах поймы реки Витьба

Katsnelson Ekaterina Iosifovna, Balaeva-Tikhomirova Olga Mikhailovna, Murashevich Viktoria Viktorovna, Sidorova Tatiana Vasilievna, Vishnevskaya Maria Viktorovna

1. Senior Lecturer of the Department of Chemistry and Natural Science Education of the Faculty of Chemical, Biological and Geographical Sciences Educational Institution "P.M. Masherov Vitebsk State University"
 2. Head of the Department of Chemistry and Natural Science Education of the Faculty of Chemical, Biological and Geographical Sciences Educational Institution "P.M. Masherov Vitebsk State University"
 3. 3rd year student of the Department of Chemistry, Biology and Geography of the Faculty of Chemical, Biological and Geographical Sciences Educational Institution "P.M. Masherov Vitebsk State University"
 4. Master's degree graduate of the Faculty of Chemical, Biological and Geographical Sciences Educational Institution "P.M. Masherov Vitebsk State University"
 5. Master's degree graduate of the Faculty of Chemical, Biological and Geographical Sciences Educational Institution "P.M. Masherov Vitebsk State University"
- Кацнельсон Екатерина Иосифовна, Балаева-Тихомирова Ольга Михайловна, Мурашевич Виктория Викторовна, Сидорова Татьяна Васильевна, Вишневская Мария Викторовна
1. Старший преподаватель кафедры химии и естественнонаучного образования факультета химико-биологических и географических наук Учреждение образования «Витебский государственный университет имени П.М. Машерова»
 2. Заведующий кафедры химии и естественнонаучного образования факультета химико-биологических и географических наук Учреждение образования «Витебский государственный университет имени П.М. Машерова»
 3. Студент 3 курса факультета химико-биологических и географических наук Учреждение образования «Витебский государственный университет имени П.М. Машерова»
 4. Выпускница магистратуры факультета химико-биологических и географических наук Учреждение образования «Витебский государственный университет имени П.М. Машерова»
 5. Выпускница магистратуры факультета химико-биологических и географических наук Учреждение образования «Витебский государственный университет имени П.М. Машерова»

Abstract. *In this paper, the authors studied the biochemical parameters of two species of pulmonate molluscs: common pondweed (*Lymnaea stagnalis*) and horny coil (*Planorbarius corneus*).*

Keywords: *water, molluscs, anthropogenic conditions.*

Аннотация. *В данной статье авторами было изучены биохимические показатели двух видов легочных моллюсков: прудовик обыкновенный (*Lymnaea stagnalis*) и катушка роговая (*Planorbarius corneus*).*

Ключевые слова: *вода, моллюски, антропогенные условия*

Рецензент: Ерофеевская Лариса Анатольевна - кандидат биологических наук, старший научный сотрудник. Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Федеральный исследовательский центр «Якутский научный центр Сибирского отделения Российской академии наук», Институт проблем нефти и газа Сибирского отделения Российской академии наук (ИПНГ СО РАН)

Водные экосистемы представляют собой естественную водную среду, в которой живые и неживые составляющие связаны в единое функциональное целое обменом вещества и энергии, что сопровождается трансформацией веществ под воздействием ряда физических, химических и биологических факторов [5]. Загрязнение водной среды, наряду с дефицитом пресной воды, является глобальной экологической проблемой. В водоемах увеличивается содержание веществ антропогенного происхождения, токсичность которых для большинства водных организмов проявляется уже в малых концентрациях [4].

Среди пресноводных моллюсков наиболее удобными объектами для экологических, биохимических и физиологических исследований являются большой прудовик и катушка роговая, в связи с их доступностью, несложностью идентификации и наличием литературы для анализа полученных данных. Моллюски являются высокочувствительными к загрязнению вод тяжелыми металлами и играют ведущую роль в аккумуляции и переносе химических веществ в водоемах. Аккумулируя различные химические вещества, моллюски выступают как основной фактор, повышающий самоочищающую способность водоемов [1]. Для оценки состояния организма определяют показатели углеводного, азотного и липидного обменов и изучают скорость мобилизации и утилизации энергетических субстратов, при воздействии различных факторов [2, 3].

Цель статьи – провести системный эколого-биологический анализ территории поймы р. Витьба на основе оценки биохимических показателей моллюсков и биотического индекса.

Материал и методы исследования. Все исследуемые образцы почвы, воды, моллюсков и бентосных организмов были отобраны на одной территории в пределах поймы р. Витьба.

Влияние физико-химических характеристик среды обитания на биохимический состав растений и животных, обитающих в пределах поймы р. Витьба включало в себя этапы исследования:

1. Установление физико-химических характеристик почв.

В почве определялась концентрация подвижных форм тяжелых металлов в почве – Cu^{2+} , Fe^{3+} , Zn^{2+} , активность почвенных ферментов – каталазы, уреазы, протеазы;

2. Определение физико-химических характеристик воды и корреляционных зависимостей между показателями почвы и воды. Определялось содержание тяжелых металлов (Fe^{2+} , Cu^{2+} , Zn^{2+}) сульфат-ионов, солей жесткости, гидрокарбонатов кальция и магния, и некоторых катионов (NH_4^+ , K^+ , Na^+ , Mg^{2+} , Sr^{2+} , Ca^{2+}) в образцах воды из р. Витьба;

3. Выявление биохимических особенностей легочных пресноводных моллюсков обитающих на данной территории, как биоиндикаторов состояния окружающей среды.

При проведении исследований использовались два вида легочных пресноводных моллюсков – прудовик обыкновенный (*Lymnaea stagnalis*) и катушка роговая (*Planorbarius corneus*). Исследования проводились на 216 легочных пресноводных моллюсках, разделенных на две группы: 108 особей *Lymnaea stagnalis* и 108 особей *Planorbarius corneus*. Моллюски собирались из р. Витьбы Витебского района. В каждой исследовательской подгруппе содержалось по 9 моллюсков. Сбор осуществлялся в осенний (октябрь) период 2020-2021 гг., в весенний (апрель) период 2020-2021 гг. и в летний период (июль) 2020-2021гг. Особи собирались вручную. Определение видовой принадлежности пресноводных моллюсков проводили с использованием литературы. Стандартизацию объектов исследования выполняли, используя во всех экспериментах животных одинакового размерного класса от 4 до 4,5 сантиметров, массой от 5 до 6 грамм. Расчетный возраст такой группы составляет около 50 недель (1 год), при средней продолжительности жизни 2 года [12, 13]. После отлова в лабораторных условиях осуществлялся забор материала (гепатопанкреаса и гемолимфы) для дальнейшего исследования. Определялись показатели азотного, липидного и углеводного обменов в гепатопанкреасе и гемолимфе легочных моллюсков (*Lymnaea stagnalis* и *Planorbarius corneus*); сравнительный анализ показателей азотного, липидного и углеводного обменов легочных пресноводных моллюсков с учетом сезона сбора [14, 15].

Методики исследования физико-химических характеристик воды и почвы

Пробы почв отбирали в сентябре – октябре. Верхний растительный слой почвы снимали, и на глубине 20 см отбирали опытную пробу, помещали в стеклянный сосуд с притертой крышкой. Анализ почвы проводили в течение 3 недель с момента сбора проб, чтобы избежать нарушения почвенного состава.

Каталазную активность почвы определяли титриметрическим методом на основании измерения количества неразложившейся перекиси с образованием окрашенных комплексов [6]. Определение активности уреазы почвы проводилось спектрофотометрическим методом, основанным на учете количества аммиака, образующегося при гидролизе карбамида [7]. Спектрофотометрическое определение активности протеазы основано на учете количества аминокислот, образующихся при протеолизе внесенных в почву белков, путем связывания их в окрашенные комплексы. Активность инвертазы определяли спектрофотометрическим методом, который основан на изменении оптических свойств раствора сахарозы при воздействии фермента [8].

Определение ионов цинка проводилось при помощи комплексонометрического титрования на основании образования комплексов ионов металлов с аминокислотами. Медь определялась методом прямой фотометрии [11]. Определения железа (II) проводилось спектрофотометрическим методом на основании того, что сульфосалициловая кислота или ее натриевая соль образуют с солями железа окрашенные комплексные соединения, причем в слабнокислой среде сульфосалициловая кислота реагирует, только с солями железа (III), а в слабощелочной среде – с солями железа (III) и (II) (желтое окрашивание, обусловленное образованием трисульфосалицилата железа) [11].

Методика определения катионного состава методом капиллярного электрофореза. Образцы исследовали на приборе «Капель 105» (Люмэкс, Россия) с кварцевым капилляром (диаметр 75 мкм, $L_{общ}/L_{эф} = 60/50$ см), детектирование проводилось при 267 нм. Чтение и обработку хроматограмм проводили с использованием программы «МультиХром». Полученные данные сопоставлялись с показателями предельно допустимых концентраций (ПДК) исследуемых катионов: аммоний (NH_4^+) – 2,5 мг/л; калий (K^+) – 200 мг/л; натрий (Na^+) – 200 мг/л; магний (Mg^{2+}) – 100 мг/л; стронций (Sr^{2+}) – 7 мг/л; кальций (Ca^{2+}) – 200 мг/л.

Определение общей жесткости воды осуществляли методом комплексонометрического титрования. Для определения класса жесткости полученные данные сопоставляли со справочной информацией [10]. Карбонатную жесткость определяли титрованием определенного объема воды рабочим раствором соляной кислоты с метиловым оранжевым. В основе турбидиметрического определения сульфат-ионов лежит реакция образования сульфата бария [9]: $SO_4^{2-} + Ba^{2+} = BaSO_4$. К анализируемому образцу воды прибавляли осаждающий раствор и измеряли мутность смеси, строили градуировочный график. Предельно допустимой концентрации сульфат-ионов для природных пресных водоемов ($ПДК_{SO_4^{2-}} = 500$ мг/л).

Определение биотического индекса. Пробы отбирались и исследовались согласно ТКП 17.13-17-2014 «Порядок отбора проб и определение гидробиологических показателей. Макрозообентос»:

- порядок отбора проб макрозообентоса;
- порядок разбора проб макрозообентоса;
- порядок определения таксономического состава и гидробиологических показателей. Определен индекс Майера и модифицированный биотический индекс (МБИ)

Методики определения биохимических показателей тканей моллюсков

Определение показателей гемолимфы проводили с использованием наборов реагентов НТПК «Анализ Х» (общий белок, мочевиная кислота), «Мочевина-01-Витал» (мочевина) [15]. Концентрацию глюкозы в гемолимфе определяли глюкозооксидазным методом наборами фирмы Диакон Диасис [15]. Определение концентрации белка (мг/г ткани) проводили по методу Лоури [16]. Содержание ДНК и РНК (мг/г ткани) устанавливали по методу Blober и Potter. Гликоген определяли методом Krisman [15]. Для количественного установления продуктов перекисного окисления липидов (ТБК-положительных веществ (ТБК-ПВ) использовали тест с 2-тиобарбитуровой кислотой [15]. Активность каталазы (1.11.1.6) выявляли по реакции с молибдатом аммония [15]. Определение количества восстановленного глутатиона проводили по реакции взаимодействия GSH с ДТНБК (5,5'-дитио-бис-2-нитробензойной кислотой) с образованием окрашенного в желтый цвет аниона 2-нитро-5-тиобензоата [15].

Весь цифровой материал вводился для хранения и обработки в таблицы Microsoft Excel и Statistica. Для проверки гипотез о различии средних значений изучаемого признака в исследуемых группах применялся t-критерий Стьюдента. Выборочные параметры, приводимые далее в таблицах, имеют следующие обозначения: М – среднее, m – стандартное отклонение.

Результаты и их обсуждение.

Определение биотического индекса. Пробы отбирались и исследовались согласно ТКП 17.13-17-2014 «Порядок отбора проб и определение гидробиологических показателей. Макрозообентос»:

- порядок отбора проб макрозообентоса;
- порядок разбора проб макрозообентоса;
- порядок определения таксономического состава и гидробиологических показателей. Определен индекс Майера и модифицированный биотический индекс (МБИ)

Для оценки степени влияния антропогенных факторов на среду обитания исследовались образцы почвы, отобранной в пределах поймы р. Витьба. В почвенных

вытяжках определены концентрации ионов тяжелых металлов, высокое содержание которых может приводить к деградации почвенного покрова (таблица 1).

Таблица 1

Содержание ионов тяжелых металлов в почве в реке Витьба (мг/кг почвы) ($M \pm m$)

Район отбора проб почвы (n=9)	Cu ²⁺	Fe ³⁺	Zn ²⁺
Витебский р-н	1,19±0,177 ¹	4,36±0,101 ¹	46,04±2,363 ¹

Примечание: ¹p < 0,05 по сравнению с ПДК.

В почве, отобранной в пределах поймы р. Витьба Витебского района концентрация ионов меди (II) высокое. При сравнении значений содержания ионов меди (II) со значением ПДК 3,0 мг/кг почвы превышений не установлено. Концентрация ионов железа (III) (ПДК железа (III) – 5,0 мг/кг почвы) не превышает ПДК в исследуемых образцах. Сравнив, полученные данные со значением ПДК цинка (II) – 23,0 мг/кг почвы, установлено превышение содержания ионов цинка (II) в почве в Витебском районе – в 2,0 раза.

Тяжелые металлы попадают в почву различными путями. Основная масса их формируется в почве за счет материнской породы. Однако наряду с естественным путем формирования пула тяжелых металлов в почве пополнение этих элементов происходит и за счет деятельности человека. Диагностика уровня загрязненности почв тяжёлыми металлами является важной задачей экологии, так как поллютанты, находящиеся в почвах прибрежной зоны, попадают в водоем, а затем в организм моллюсков, вызывая у животных отравления и нарушение метаболизма.

На следующем этапе была определена активность ферментов, являющихся показателями эколого-функционального состояния почвы (таблица 2).

Таблица 2

Ферментативная активность почв прибрежной зоны в реке Витьба ($M \pm m$)

Район отбора проб почвы (n=9)	Активность каталазы (см ³ O ₂ / г за 1 мин)	Активность протеазы (мг альбумина / 10 г за 24 ч)	Активность уреазы (мг NH ₃ / 10 г за 24 ч)
Витебский р-н	3,62 ± 0,082 ¹	1,53 ± 0,015 ¹	105,01 ± 0,340 ¹

Примечание: ¹p < 0,05 по сравнению со средней активностью фермента.

Ферменты участвуют в процессах почвообразования и в формировании качественного признака почв – плодородия. Важнейшей характеристикой ферментативных комплексов почв является упорядоченность действия имеющихся групп ферментов. Она проявляется в том, что обеспечивается одновременное действие ряда ферментов, представляющих различные группы. Ферменты исключают накопление избытка подвижных простых соединений путем связывания и направления

в циклы, завершающиеся образованием более сложных соединений. Каталаза – фермент, катализирующий расщепление токсичной перекиси водорода на воду и свободный кислород. Большое влияние на активность фермента в почве оказывает растительность. Как правило, почвы, находящиеся под растениями с мощной глубоко проникающей корневой системой, характеризуются высокой активностью каталазы. Особенность активности каталазы заключается в том, что вниз по почвенному профилю она мало изменяется и зависит от влажности почв и от температуры. В исследуемых образцах почвы средняя активность фермента по сравнению со стандартной шкалой активности.

Протеазы – это группа ферментов, при участии которых белки расщепляются до полипептидов и аминокислот, далее они подвергаются гидролизу до аммиака, диоксида углерода и воды. В связи с этим протеазы имеют важнейшее значение в жизни почвы, так как с ними связаны изменение состава органических компонентов и динамика усвояемых для растений форм азота. Установлена невысокая активность протеазы в почве, отобранной в пределах поймы р. Витьба.

Уреаза – фермент, катализирующий гидролиз мочевины. Эту реакцию можно рассматривать как процесс экологической минерализации продукта азотистого обмена; в результате этого процесса водорастворимый нелетучий органический субстрат – мочевина трансформируется в летучие продукты – аммиак и диоксид углерода. Основная масса образовавшихся продуктов не улетучивается, а в нейтральной среде воды и почвы взаимодействует между собой с образованием преимущественно гидрокарбоната аммония. Последний усваивается растениями и микроорганизмами, и утилизируется как источник азота для биосинтеза протеинов, нуклеиновых кислот и других важных азотистых биоорганических компонентов растений и микробов. В результате реакции катализируемой уреазой биотический поллютант мочевина превращается в аммонийную соль. Активность уреазы установлена в Витебском районе высокая. Сравнив полученные данные со шкалой активности уреазы, установлено: в Витебском районе активность фермента очень высокая.

Уровень ферментативной активности и содержание тяжелых металлов в почве являются эффективными диагностическими показателями при оценке степени антропогенной нагрузки, уровня деградации почвы и загрязнения природных водоемов. Почвы, отобранной в пределах поймы р. Витьба Витебского района является наиболее загрязненной по содержанию тяжелых металлов, что соответственно отражается на активности почвенных ферментов. Это объясняется тем, что предприятия города используют реку в промышленных целях, осуществляют в нее сброс сточных вод, также

ситуация усугубляется активным использованием берега реки в качестве зон отдыха в летний сезон, парковка автомобилей вблизи водоема. Содержание ионов тяжелых металлов в почве и ее ферментативная активность в пределах поймы р. Витьба находится в тесной взаимосвязи с физико-химическими показателями в воде р. Витьба, так как тяжелые металлы мигрируют между средами, а также растениями и животными, обитающими на данной территории.

Качество природных водоемов в целом характеризуется разнообразными показателями, важнейшими из которых являются катионный состав, наличие ионов железа, меди и цинка, жесткость, наличие токсичных соединений. Показатели качества воды регламентируются ГОСТами. В формировании состава природных вод важная роль принадлежит процессам обмена между ионами, содержащимися в воде, и ионами, входящими в состав почвы. В исследуемых образцах воды определены концентрации ионов тяжелых металлов, оказывающих неблагоприятное воздействие на показатели эколого-функционального состояния водной экосистемы (таблица 3).

Таблица 3

Содержание растворенных форм металлов в реке Витьба (мг/л) ($M \pm m$)

Район отбора проб воды (n=9)	Показатель		
	Fe ³⁺	Cu ²⁺	Zn ²⁺
Витебский р-н	0,655 ± 0,017	3,101 ± 0,025	1,776 ± 0,094

Примечание: $^1p < 0,05$ по сравнению с ПДК

Полученные результаты были сопоставлены со значениями ПДК для данных элементов. В отношении содержания ионов железа (III) были выявлено превышения значения ПДК (0,5 мг/л) в воде из р. Витьба в Витебском районе в 1,3 раза. При сравнении содержания ионов цинка (II) со значением ПДК (0,1 мг/л) были выявлены превышения в Витебском районе в 17,8 раз.

Сравнив содержание ионов меди (II) в воде из исследуемого водоема со значениями ПДК (1 мг/л) были выявлены следующие превышения: Витебский район в 3,1 раза. Источниками загрязнения вод тяжелыми металлами служат сточные воды промышленных предприятий и заводов. Тяжелые металлы входят в состав удобрений и пестицидов и могут попадать в водоемы вместе со стоком с сельскохозяйственных угодий. Повышение концентрации тяжелых металлов в природных водах часто связано с другими видами загрязнения, например, с закислением. Для характеристики воды из водоемов также установлено содержание сульфат-ионов и катионов, обуславливающих жесткость воды (таблица 4).

По содержанию сульфат-ионов в исследуемых пробах воды превышения значения ПДК (500 мг/л) не выявлено. Максимальное значение отмечается в образцах

воды из реки Витьба Витебского района. Жесткость природных вод обусловлена наличием в них кальция и магния. Жесткость может варьироваться в довольно широких пределах, и в течение года непостоянна. Увеличивается жесткость из-за испарения воды, уменьшается из-за обильных дождей, а также в период таяния снега и льда. По содержанию катионов, обуславливающих жесткость воды исследуемые пробы можно разделить: жесткая вода – Витебский район. В пробах воды из Витебского района отмечены максимальные значения карбонатной и общей жесткости.

Таблица 4

Содержание сульфат-ионов (мг/л) и катионов, обуславливающих жесткость воды ($^{\circ}$ Ж – градус жесткости) в исследуемых природных водах ($M \pm m$)

Район отбора проб воды (n=9)	Показатель		
	Сульфаты	Карбонатная жесткость	Общая жесткость
Витебский р-н	153,98 ± 0,16 ¹	0,93 ± 0,066	8,1 ± 0,18

Примечание: $^1p < 0,05$ по сравнению с ПДК.

Концентрации катионов рассчитаны на основе градуировочных смесей, приготовленных из растворов соответствующих государственных стандартных образцов, и имеют усредненное из пяти значение. Полученные результаты приведены в таблице 5.

Таблица 5

Содержание катионов (мг/л) в реке Витьба

Район отбора проб воды (n=5)	Показатель					
	NH ₄ ⁺	K ⁺	Na ⁺	Mg ²⁺	Sr ²⁺	Ca ²⁺
Витебский р-н	450,2 ¹	274,5 ¹	2015,0 ¹	714,1 ¹	-	2965,0 ¹

Примечание: $^1p < 0,05$ по сравнению с ПДК.

Результаты проведенных исследований показали, что ПДК катионов аммония (NH₄⁺) значительно превышена в водоемах Витебского района в 181 раз. При определении содержания катионов натрия (Na⁺) превышения ПДК были зафиксированы в пробах воды Витебского района в 10 раз. Превышения концентрации катионов магния (Mg²⁺) по сравнению с ПДК были обнаружены в пробах воды из исследуемого водоема. В образцах воды из Витебского района, превышающее ПДК в 7,1 раза. Катионы стронция (Sr²⁺) в исследуемых образцах воды не были обнаружены. При определении концентрации катионов кальция (Ca²⁺) превышения ПДК были обнаружены во всех водоемах. Наибольшая концентрация ионов кальция установлена в образцах воды из Витебского района (выше ПДК в 14,8 раз).

Из анализа таблицы 6 следует, что при сравнении физико-химических характеристик воды и почвы зоны в пределах поймы р. Витьба выявлены статистически

значимые корреляционные связи средней и сильной силы взаимного влияния. Отрицательных корреляционных связей между физико-химическими характеристиками воды и почвы не выявлено. Наиболее тесные положительные корреляционные взаимосвязи найдены для содержания ионов железа в почве и активности каталазы в почве, карбонатной жесткости воды и активности протеазы в почве, содержания ионов цинка в почве и активности протеазы в почве. Данная степень корреляционной взаимосвязи составила от 0,81119 ($P = 0,0004$) до 0,96673 ($P = 0,0604$). Сильная степень корреляционной связи отмечена для общей жесткости воды и активностью каталазы в почве и составила 0,70525 ($P = 0,0004$).

Таблица 6

Корреляционные зависимости физико-химических характеристик воды и почвы в пределах поймы р.Витьба Витебского района

Показатели	Коэффициент корреляции (R) по Спирмену	Теснота корреляционной связи	Уровень значимости по Манну-Уитни
Fe^{2+} (п) – уреазы (п)	0,81119	сильная	$P = 0,0004$
Zn^{2+} (п) – уреазы (п)	0,67133	средняя	$P = 0,0037$
Общая жесткость (в) – каталаза (п)	0,70527	сильная	$P = 0,0004$
Карбонатная жесткость (в) – каталаза (п)	0,85615	сильная	$P = 0,0004$
Zn^{2+} (в) – протеазы (п)	0,96673	сильная	$P = 0,0604$
Cu^{2+} (в) – Fe^{2+} (в)	0,62238	средняя	$P = 0,0004$
SO_4^{2-} (в) – медь (в)	0,62937	средняя	$P = 0,0004$
Fe^{2+} (в) – цинк (в)	0,63047	средняя	$P = 0,0006$
Общая жесткость (в) – карбонатная жесткость (в)	0,61796	средняя	$P = 0,0004$

Зообентос удобен при оценке общего экологического состояния водоёма. В практике биоиндикационных исследований наибольшее значение получил макрозообентос, представленный организмами разного систематического положения. Для оценки качества воды нами использован метод Майера, приемлемый для любых типов водоёмов. Он основан на приуроченности различных групп водных беспозвоночных к водоёмам с определённым уровнем загрязнённости. При этом все организмы делятся на три индикаторные группы - группы Майера.

Группа I - обитатели чистых вод. К ним относятся личинки веснянок, личинки подёнок, личинки ручейников, личинки вислоккрылок и двустворчатые моллюски.

Группа II - обитатели умеренно загрязнённых вод. К ним относятся рачки-бокоплавы, речной рак, личинки стрекоз, личинки комаров-долгоножек, моллюски-катушки и живородки.

Группа III - обитатели загрязнённых вод. К ним относятся личинки комаров-звонцов, пиявки, водяной ослик, моллюски-прудовики, личинки мошек и малощетинковые черви.

Все организмы, обнаруженные в пробе, распределяются в соответствии с индикаторными группами Майера. Количество организмов из первой группы (обитатели чистых вод) умножают на 3, количество организмов из второй группы - на 2, из третьей - на 1. Получившиеся цифры складывают и определяют индекс Майера. Этот показатель позволяет судить о степени загрязнённости водоёма.

Если индекс Майера превышает 22 балла - водоём 1 класса качества.

Индекс Майера от 17 до 21 баллов - 2 класс качества.

Индекс Майера от 11 до 16 баллов - 3 класс качества.

Индекс Майера меньше 11 баллов - 4-7 класс качества.

Исследования проводились в июле 2022г. Отбор проб бентоса проводили на глубине 0,5 метра от берега гидрологическим сачком. На каждом озере выбрано 5 участков, на каждом участке по 3 площадки размером 1м². Таким образом на каждом озере обследовано по 15 площадок площадью 1м² каждая.

Зообентос р. Витьба составили: катушка, прудовик, личинки стрекоз, личинки комаров-звонцов. Индекс Майера 6, что соответствует 4 классу качества воды, грязные воды (таблица 7).

Таблица 7

Организмы бентоса, выявленные при обследовании р. Витьба

Обитатели чистых вод	Обитатели умеренно загрязненных вод	Обитатели загрязненных вод
-	Личинки стрекоз, катушка,	личинки комаров-звонцов, моллюски-прудовики

Загрязнение водоемов происходит как естественным путем (поступают с дождевыми водами, смываются с берегов, а также образуются в процессе развития и отмирания животных и растительных организмов), так и искусственным путем (в результате хозяйственной деятельности человека).

При проведении системно-экологического анализа определения экологического статуса водоемов по гидрохимическим показателям воды и биотическому индексу. Установлено, что уровень антропогенной нагрузки влияет на гидрохимические показатели, биотический индекс и как следствие на класс чистоты природных вод. Река Витьба характеризуется высокой антропогенной нагрузкой – 10 баллов. Класс качества воды имеет закономерные силе антропогенной нагрузке характеристики: р. Витьба – 4 класс (грязный водоем).

Особенности обменных процессов моллюсков из р. Витьба

Изменения окружающей среды влияют на водные экосистемы в целом и на их обитателей в частности. Поэтому в качестве биоиндикаторов антропогенного влияния на среду используют легочных пресноводных моллюсков. Методы биоиндикации имеют ряд существенных преимуществ по сравнению физико-химическими методами анализа: высокая чувствительность и специфичность биоиндикаторов к токсическим веществам; суммирование всех без исключения данных о загрязнении; возможность характеризовать состояние той или иной среды за длительный промежуток времени; низкая себестоимость исследований.

Определение особенностей метаболизма легочных пресноводных моллюсков проводили с учетом сезонных изменений и условий обитания особей. Моллюски из реки Витьба Витебского района характеризуются следующими показателями обмена веществ (таблицы 8, 9).

Таблица 8

Показатели обмена веществ в гемолимфе и гепатопанкреасе *Planorbarius corneus* из р. Витьба Витебского района ($M \pm m$)

Показатель	Сезон года		
	Весна (n=9)	Лето (n=9)	Осень (n=9)
Общий белок (гемолимфа) (мг/мл)	37,04±0,52 ¹	24,15±0,32	33,31±0,46 ¹
Общий белок (гепатопанкреас) (мг/г)	189±7,1 ^{1,2}	135±7,3	256±8,2 ¹
ДНК (мг/г)	1,44±0,11 ²	1,67±0,09	1,83±0,10 ¹
РНК (мг/г)	10,20±0,58 ^{1,2}	7,44±0,35	5,46±0,35 ¹
Мочевая к-та (мкмоль/л)	137,99±5,23 ^{1,2}	119,56±3,45	92,14±2,02 ¹
Мочевина (ммоль/л)	6,54±0,06 ¹	8,15±0,08	6,02±0,06 ¹
Глюкоза (ммоль/л)	1,90±0,072 ^{1,2}	1,21±0,022	0,73±0,045 ¹
Гликоген (мг/г)	17,58±0,133 ^{1,2}	20,88±0,244	24,05±0,208 ¹
ТБК-ПВ (мкмоль/г)	8,04±0,55 ^{1,2}	4,36±0,25	5,24±0,33 ¹
Восстановленный глутатион (мкмоль/г)	11,43±0,15 ^{1,2}	7,22±0,08	8,94±0,07 ¹
Каталаза (мкмоль/мин/г)	82,4±1,4 ^{1,2}	31,2±1,2	52,3±1,3 ¹

Примечание: ¹p < 0,05 по сравнению с летним периодом сбора моллюсков; ²p < 0,05 по сравнению с осенним периодом сбора моллюсков.

Таблица 9

Показатели обмена веществ в гемолимфе и гепатопанкреасе *Lymnaea stagnalis* из р. Витьба Витебского района ($M \pm m$)

Показатель	Сезон года		
	Весна (n=9)	Лето (n=9)	Осень (n=9)
Общий белок (гемолимфа) (мг/мл)	14,03±0,22 ¹	11,35±0,16	15,87±0,25 ¹
Общий белок (гепатопанкреас) (мг/г)	271±7,6 ^{1,2}	186±8,8	323±21,7 ¹
ДНК (мг/г)	1,74±0,04 ^{1,2}	2,09±0,04	2,49±0,03 ¹
РНК (мг/г)	9,07±0,42 ^{1,2}	7,06±0,16	5,74±0,24 ¹
Мочевая к-та (мкмоль/л)	74,47±1,48 ^{1,2}	45,56±2,33	25,46±0,64 ¹
Мочевина (ммоль/л)	5,93±0,17 ¹	7,14±0,11	6,05±0,03 ¹
Глюкоза (ммоль/л)	0,93±0,006 ^{1,2}	0,60±0,035	0,41±0,037 ¹

Показатель	Сезон года		
	Весна (n=9)	Лето (n=9)	Осень (n=9)
Гликоген (мг/г)	23,11±0,174 ²	26,21±0,182	27,42±0,612
ТБК-ПВ (мкмоль/г)	9,32±0,47 ^{1,2}	3,56±0,24	5,18±0,26 ¹
Восстановленный глутатион (мкмоль/г)	11,64±0,13 ^{1,2}	8,04±0,05	9,12±0,08 ¹
Каталаза (мкмоль/мин/г)	88,4±2,3 ^{1,2}	41,4±1,3	56,6±2,6 ¹

Примечание: ¹p < 0,05 по сравнению с летним периодом сбора моллюсков; ²p < 0,05 по сравнению с осенним периодом сбора моллюсков.

Содержание общего белка в гепатопанкреасе обоих видов моллюсков в весенний и осенний периоды сбора превышало летние значения показателя в 1,4 и 1,9 раза соответственно. Концентрация общего белка в гемолимфе *Pl. corneus* и *L. stagnalis*, собранных летом, была меньше в 1,4 раза по сравнению с моллюсками собранными весной и осенью. Содержание мочевины в гемолимфе моллюсков собранных летом превышал весенние и осенние значения в 1,2 раза. Уровень ДНК в гепатопанкреасе катушки роговой и прудовика обыкновенного увеличивается от весны к осени в 1,2 и 1,4 раза соответственно. Содержание гликогена в гепатопанкреасе двух видов моллюсков увеличивается от весны к осени в 1,2 раза. По сравнению с осенним периодом сбора у *Pl. corneus* повышено содержание РНК в весенний и летний периоды сбора в 1,9 и 1,4 раза, у *L. stagnalis* – в 1,6 и 1,2 раза. Концентрация мочевой кислоты повышена в весенний и летний периоды сбора у катушки обыкновенной в 1,2 и 1,5 раза соответственно, у прудовика обыкновенного – в 2,9 и 1,6 раза по сравнению с осенним периодом сбора. По сравнению с весенним и летним периодами сбора у двух видов моллюсков понижено содержание глюкозы в осенний период сбора в 2,3 и 1,6 раза соответственно. У *Pl. corneus* повышено содержание ТБК-ПВ и восстановленного глутатиона в гепатопанкреасе в осенний и весенний периоды сбора в 1,6 и 1,2 раза соответственно, у *L. stagnalis* в 2,6 и 1,5 раза ТБК-ПВ и в 1,4 раза восстановленный глутатион по сравнению с летним периодом сбора. Активность каталазы по сравнению с летним периодом сбора у *Pl. corneus* повышена в 2,6 и 1,7 раза, у *L. stagnalis* – в 2,1 и 1,4 в весенний и осенний периоды сбора.

Данные особенности обмена веществ легочных пресноводных моллюсков связаны с экологическими характеристиками реки Витьба Витебского района и ее прибрежной зоны. Витьба – река в Витебском районе, левый приток реки Западная Двина. Длина – 33 км. Река берет начало у деревни Поддубье в пределах Витебской возвышенности. Площадь водосбора – 275 км². Водосбор на северо-западных склонах Витебской возвышенности. В границе города река имеет протяженность 4,8 км. Русло реки извилистое, шириной 20-30 м, в низовье – до 60 м. На берегах и островах реки созданы зоны отдыха, в которые входят парк имени Фрунзе и зона отдыха на

набережной реки Витьба. На правом берегу расположен Ботанический сад. Берега реки соединены автомобильными и пешеходными мостами. Река Витьба имеет выраженные признаки антропогенного воздействия. Наличие на ее берегах зон отдыха усугубляет это воздействие. На берегах и в воде реки можно наблюдать много мусора. На дне реки обнаружен черный ил, что свидетельствует о большом количестве органических веществ в воде. Вода имеет желтоватый оттенок и легкий болотный запах, что является начальными признаками эвтрофикации водоема.

Заключение. В результате проведенных исследований было определено содержание ионов тяжелых металлов в пробах воды и почвы, исследована активность ферментов, проведен системно-экологический анализ содержания ионов металлов в почве и ее ферментативной активности с учетом антропогенной нагрузки, особенности химического состава растений и показателей метаболизма легочных пресноводных моллюсков с учетом сезонных изменений. Согласно полученным данным можно сделать следующие выводы.

Легочные моллюски являются удобными и наиболее широко используемыми объектами для мониторинга биологического состояния водных экосистем. Кроме их чувствительности к действиям различных физических (температура, ультрафиолетовое излучение, ионизирующее излучение и др.), химических (свободно-радикальные процессы) и биологических (бактериальные инфекции, паразитирование личинок трематод) факторов, следует учитывать также влияние на исследуемые показатели сезона года и местообитания. Изменения в метаболизме легочных пресноводных моллюсков связаны с тем, что они подстраиваются под изменяющиеся условия среды. При исследовании показателей обмена веществ в гемолимфе и гепатопанкреасе, двух видов моллюсков установлены следующие закономерности. Содержание общего белка в гемолимфе двух видов моллюсков снижено в летний период времени и повышено весной и осенью. Уровень мочевины в гемолимфе имеет обратную закономерность. Мочевая кислота в гемолимфе двух видов моллюсков закономерно повышается от осени к весне. Содержание РНК в тканях гепатопанкреаса и глюкозы в гемолимфе катушки роговой и прудовика обыкновенного закономерно снижается от весны к осени, а содержание ДНК и гликогена наоборот растет. Содержание общего белка в тканях гепатопанкреаса обоих видов моллюска уменьшается по сезонам в последовательности осень > весна > лето. На активность антиоксидантной системы *Pl. corneus* и *L. stagnalis* влияют сезонные и антропогенные факторы окружающей среды. Содержание ТБК-ПВ, восстановленного глутатиона и активность каталазы в гепатопанкреасе моллюсков изменяются однотипно во всех исследуемых водоемах: самые низкие значения летом,

весенние значения превышают летний уровень примерно в 2 раза, а осенние – в среднем в 1,5 раза.

Таким образом, на основании полученных данных может быть создан алгоритм установления экологического состояния природных экосистем с учетом химического состава животных обитающих на данной территории.

References

1. Дурынина, Е.П. Агрохимический анализ почв, растений, удобрений / Е.П. Дурынина, В.С. Егоров. – М.: МГУ, 1998. – 113 с.
2. Абрамян, С.А. Изменение ферментативной активности почвы под влиянием естественных и антропогенных факторов / С.А. Абрамян // журн. Почвоведение. – 1992. – №7. – С. 70-82.
3. Безуглова, О.С. Влияние города на почвообразование и свойства почв / О.С. Безуглова, С.Н. Горбов, И.В. Морозов // в кн. «Экологические проблемы антропогенных ландшафтов Ростовской области». Том 1. Экология города Ростова-на-Дону. – Ростов-на-Дону: Изд-во СКНЦВШ, 2003. – С. 182–240.
4. Галиулин, Р.В. Индикация загрязнения почв тяжелыми металлами путем определения активности почвенных ферментов / Р.В. Галиулин // Агрохимия 1989. – №11. – С. 133-142.
5. Жерносек, А.К. Физико-химические методы анализа / А.К. Жерносек, И.С. Борисевич. – Витебск: УО «ВГУ им. П.М. Машерова», 2012. – 12 с.
6. Звягинцев, Д.Г. Методы почвенной микробиологии и биохимии / Д.Г. Звягинцев. – М.: Изд-во МГУ, 1991. – 303 с.
7. Dogar, M.A. / Effect of increasing zinc concentration in nutrient solution on growth and cinetica of zinc uptake by rice / M.A. Dogar, Tang Van Hai // Z.Pflanzenhysiol. – 1979. – vol. 93, №3. – P. 207 – 217.
8. Абаев, А. К. Фотометрическое определение железа (III) и некоторых сопутствующих элементов В-дикетонами и их азометиновыми производными / А.К. Абаев – Баку, 1984. – 195 с.
9. Аксенова, В.И. Химия воды: Аналитическое обеспечение лабораторного практикума: учеб. пособие / В.И. Аксенова, Л.И. Ушакова, И.И. Ничкова. – Екатеринбург, 2014. – С. 5 – 6.
10. Алекин, О.А. Руководство по химическому анализу поверхности вод суши / О.А. Алекин – Л., 1973. – 1077 с.
11. Зуева, Н.В. Биоиндикация и биотестирование в пресноводных экосистемах: учеб. пособие / Н.В. Зуева – СПб.: РГГМУ, 2019. – 140 с.
12. Вода. Методы определения цветности [Электронный ресурс] – 2019. – Режим доступа: <https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4293785/4293785551.pdf>. – Дата доступа: 22.04.2023.
13. Водородный показатель вод. Методика измерения потенциометрическим

методом. [Электронный ресурс] – 2017. – Режим доступа: <https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4293739/4293739174.pdf>. – Дата доступа: 19.03.2023.

14. Воды минеральные, природные, питьевые. [Электронный ресурс] – 2011. – Режим доступа: <https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4293803/4293803606.pdf>. – Дата доступа: 17.03.2023.

15. Глинка, Н. Л. Общая химия / Н.Л. Глинка – Москва, 2002. – 164 с.

16. ГОСТ 8.292 Кондуктометры жидкости лабораторные. Методика поверки

17. Колпакова, В.П. Экология : учебно-методическое пособие / В.П. Колпакова, Г.Д. Толкушкина – Барнаул, 2011. – 78 с.

18. Титкова, Н.Д. Прогноз использования пресных питьевых вод в Беларуси
Н.Д. Титкова, Д.Д. Таликадзе // Актуальныя пытанні сучаснай навукі. Зборнік навуковых прац. Мн.: БДПУ, 2010. 150 с.

19. Фрог, Б.И. Водоподготовка / Б.И. Фрог, А.П. Левченко – М.; изд. МГУ, 1996. –55 с.

20. Шевцова, Н.С. Стандарты качества окружающей среды / Н.С. Шевцова – Минск: БГПУ, 2010. –140 с.

21. Эйхгорн, Г. Неорганическая биохимия: в 2 т. / Г. Эйхгорн – М.: Мир, 1978. – Т. 2. – 736 с.

22. Золотов, Ю.А. Химические тест-методы анализа / Ю.А. Золотов, В.М. Иванов, В.Г. Амелин. – Москва, 2002. – 304 с.