

УДК 575.5:556.11:631.4:594.3(476.5)

# КОМПЛЕКСНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА СОСТАВА ПРИРОДНЫХ ВОДОЕМОВ И ПОЧВ ПРИБРЕЖНЫХ РАЙОНОВ КАК СРЕДЫ ОБИТАНИЯ ПРЕСНОВОДНЫХ ЛЕГОЧНЫХ МОЛЛЮСКОВ

Е.И. Кацнельсон\*, Г.В. Цапко\*\*, Н.Ю. Полозова\*\*\*,  
Т.В. Шамулина\*\*\*\*, О.М. Балаева-Тихомирова\*

\*Учреждение образования «Витебский государственный университет имени П.М. Машерова»

\*\*Государственное учреждение образования «Матюшевская детский сад-базовая школа имени П.Е. Куприянова Полоцкого района»

\*\*\*Белорусский государственный университет

\*\*\*\*Государственное учреждение образования «Ясли-сад-средняя школа № 10 г. Орши»

В настоящее время уровень техногенной нагрузки на гидросферу продолжает оставаться очень высоким, что обуславливает усиление неблагоприятного воздействия на природные водоемы. Характеристика состава природных водоемов и почв прибрежных районов позволяет оценить экологическое состояние рассматриваемых водных экосистем, на которые оказывают влияние различные антропогенные факторы. Цель работы – исследование экологического состояния водоемов Витебской области посредством оценки ключевых показателей, характеризующих степень антропогенной нагрузки на воду и почву.

**Материал и методы.** Изучены образцы воды и почв прибрежной зоны водоемов шести районов Витебской области. Определены концентрация сульфат-ионов, ионов железа, меди и цинка, катионный состав, общая и карбонатная жесткость в воде; концентрация ионов железа, меди и цинка, активность ферментов каталазы, протеазы и уреазы в почве спектрофотометрическими методами.

**Результаты и их обсуждение.** Наибольшая антропогенная нагрузка отмечена в водоемах Витебского, Бешенковичского, Дубровенского и Сенненского районов, что подтверждается превышающим ПДК содержанием ионов железа в Бешенковичском, Сенненском и Витебском районах, превышающим ПДК содержанием ионов меди в Витебском районе, превышающим ПДК содержанием ионов цинка во всех исследуемых районах. Установлено, что активность ферментов в почве зависит от содержания тяжелых металлов в ней. Почвы прибрежной зоны водоемов Витебского, Бешенковичского, Дубровенского и Сенненского районов наиболее загрязнены тяжелыми металлами, что подтверждается показателями активности ферментов – слабая активность каталазы, протеазы и высокая активность уреазы. По результатам содержания сульфат-ионов, ионов железа, меди и цинка в пробах воды и почвы, катионного состава проб воды, активности почвенных ферментов, общей и карбонатной жесткости в воде определено, что относительно чистыми можно считать водоемы Ушачского и Шумилинского районов.

**Заключение.** Химические показатели воды и почвы являются основными характеристиками экологического состояния водных объектов и позволяют установить степень неблагоприятного воздействия на водную экосистему в целом.

**Ключевые слова:** биомониторинг, тяжелые металлы, ферментативная активность почв, сульфат-ионы, жесткость воды.

## COMPLEX CHARACTERISTICS OF THE COMPOSITION OF NATURAL WATER BODIES AND SOILS OF COASTAL AREAS AS THE HABITAT OF FRESHWATER LUNG MOLLUSKS

E.I. Katsnelson\*, G.V. Tsapko\*\*, N.Yu. Polozova\*\*\*,  
T.V. Shamulina\*\*\*\*, O.M. Balaeva-Tikhomiova\*

\*Educational Establishment «Vitebsk State P.M. Masherov University»

\*\*State Educational Establishment «P.E. Kupriyanov Matyushevskaya Kindergarten-Base School of Polotsk District»

\*\*\*Belarusian State University

\*\*\*\*State Educational Establishment «Nursery-Kindergarten-Secondary School № 10 of Orsha»

Currently, the level of anthropogenic pressure on the hydrosphere continues to be very high, which causes an increase in the adverse effects on natural water bodies. The character of the composition of natural water bodies and soils in coastal areas allows assessing the ecological state of the aquatic ecosystems under study, which are influenced by various anthropogenic factors. The

purpose of the work is to study the ecological state of the water bodies of Vitebsk Region through the assessment of key indicators characterizing the degree of anthropogenic pressure on water and soil.

**Material and methods.** Water and soil samples from the coastal zone of water bodies of six Districts of Vitebsk Region were studied. The concentration of sulfate ions, iron, copper and zinc ions, cationic composition, total and carbonate hardness in water were determined; the concentration of iron, copper and zinc ions, the activity of catalase, protease and urease enzymes were identified in soil by spectrophotometric methods.

**Findings and their discussion.** The highest anthropogenic load was observed in the water bodies of Vitebsk, Beshenkovichi, Dubrovno and Senno Districts, as evidenced by the content of iron ions in Beshenkovichi, Senno and Vitebsk Districts exceeding the maximum concentration limits of copper ions in Vitebsk Region, by exceeding the maximum concentration limits of zinc ions in all the studied Districts, in all studies of copper ions in Vitebsk Region, exceeding the maximum concentration limits of zinc ions in all the Districts. It is established that the activity of enzymes in the soil depends on the content of heavy metals in it. The soils of the coastal zone of water bodies in Vitebsk, Beshenkovichi, Dubrovno and Senno Districts are the most polluted with heavy metals, which is confirmed by enzyme activity indicators – weak catalase activity, protease and high urease activity. According to the results of the content of sulfate ions, iron, copper and zinc ions in water and soil samples, cationic composition of water samples, activity of soil enzymes, total and carbonate hardness in water, water bodies of Ushachi and Shumilino Districts can be considered relatively clean.

**Conclusion.** Chemical indicators of water and soil are the main characteristics of the ecological state of water bodies and allow us to establish the degree of adverse effects on the aquatic ecosystem as a whole.

**Key words:** biomonitoring, heavy metals, soil enzymatic activity, sulfate ions, water hardness.

**В** настоящее время весьма актуальна оценка состояния природных водоемов, поскольку наблюдается их повсеместное загрязнение. Одним из наиболее существенных факторов, влияющих на качество воды, является антропогенная нагрузка [1].

Широкое использование ресурсов поверхностных вод в промышленности и сельском хозяйстве, развитие хозяйственно-бытового водоснабжения, воздействие загрязняющих веществ различного происхождения обуславливают многообразие факторов антропогенной нагрузки на водные объекты [2; 3].

Цель работы – исследование экологического состояния водоемов Витебской области посредством оценки ключевых показателей, характеризующих степень антропогенной нагрузки на воду и почву.

**Материал и методы.** Объектами изучения были пробы воды и почвы прибрежной зоны (табл. 1).

Таблица 1

**Места отбора проб воды и почвы**

Район отбора проб	Место сбора	Название водоема
Витебский р-н	г. Витебск	р. Витьба
Дубровенский р-н	д. Шеки	оз. Афанасьевское
Бешенковичский р-н	д. Соорово	оз. Сооровское
Ушачский р-н	д. Дубровка	оз. Дубровское
Шумилинский р-н	аг Башни	оз. Будовесь
Сенненский р-н	г. Сенно	оз. Сенненское

Анализ воды и почвы проводился в течение 3 недель с момента отбора проб в целях избежания изменения состава и ферментативной активности исследуемых проб.

Для определения в почвах ионов тяжелых металлов была проведена предварительная пробоподготовка. Почву помещали в чашки Петри и ставили в термостат при 40°C на 24 часа. Затем ее измельчали в ступке и просеивали через сито, а из просеянной почвы готовили почвенную вытяжку. Для извлечения тяжелых металлов из почв использовали 1М раствор HCl. Соотношение между объемами почвы и раствора 1:10, время экстракции 1 час при периодическом взбалтывании [4].

Ионы меди (II) устанавливали методом прямой фотометрии [3]. Выявление ионов цинка (II) в воде и почве проводили методом комплексонометрического титрования, основанного на образовании комплексов ионов металла с аминополикарбонowymi кислотами [5]. Определение железа (III) проводили спектрофотометрическим методом на основании образования сульфосалициловой кислотой с солями железа окрашенных комплексных соединений [6].

Обнаружение катионов в пробах воды проводили методом капиллярного электрофореза с использованием прибора «Капель 105» (Люмэкс, Россия) с кварцевым капилляром. Детектирование осуществлялось при 267 нм.

Активность каталазы в почве определяли титрометрическим методом, основанным на измерении количества неразложившейся перекиси с образованием окрашенных комплексов [7]. Спектрофотометрическое установление активности протеазы проводили на основе учета количества аминокислот, образующихся при протеолизе внесенных в почву белков, путем связывания их в окрашенные комплексы [7]. Активности уреазы почвы определяли спектрофотометрическим методом, основанным на учете количества аммиака, образующегося при гидролизе карбамида [8].

Математическую обработку полученных результатов проводили методами параметрической и непараметрической статистики с использованием пакета статистических программ Microsoft Excel 2012, STATISTICA 12.5.

**Результаты и их обсуждение.** 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 водных экосистем (табл. 2).

Таблица 2

**Содержание растворенных форм металлов в водоемах Витебской области (мг/л) ( $M \pm m$ )**

Район отбора проб воды (n=9)	Показатель		
	Fe <sup>3+</sup>	Cu <sup>2+</sup>	Zn <sup>2+</sup>
Витебский р-н	0,655±0,017 <sup>1, 4, 5, 6</sup>	3,101±0,025 <sup>7</sup>	1,776±0,094 <sup>4, 7</sup>
Дубровенский р-н	0,473±0,009 <sup>1, 4, 5, 7</sup>	1,131±0,055 <sup>4</sup>	0,436±0,037 <sup>7</sup>
Бешенковичский р-н	1,018±0,010 <sup>6, 7</sup>	0,550±0,005 <sup>2, 7</sup>	0,104±0,037
Ушачский р-н	0,600±0,007 <sup>4, 5, 6</sup>	0,435±0,009 <sup>2, 3, 7</sup>	0,566±0,021 <sup>2, 6, 7</sup>
Шумилинский р-н	0,210±0,003 <sup>6, 7</sup>	0,412±0,000 <sup>1, 3, 7</sup>	0,561±0,021 <sup>1, 6, 7</sup>
Сенненский р-н	0,610±0,004 <sup>1, 5, 6</sup>	0,826±0,027 <sup>6, 7</sup>	0,950±0,043 <sup>5, 7</sup>

**Примечание:** <sup>1</sup>p < 0,05 по сравнению с Ушачским районом; <sup>2</sup>p < 0,05 по сравнению с Шумилинским районом; <sup>3</sup>p < 0,05 по сравнению с Бешенковичским районом; <sup>4</sup>p < 0,05 по сравнению с Сенненским районом; <sup>5</sup>p < 0,05 по сравнению с Витебским районом; <sup>6</sup>p < 0,05 по сравнению с Дубровенским районом; <sup>7</sup>p < 0,05 по сравнению с ПДК.

Полученные результаты были сопоставлены со значениями ПДК для данных элементов. В отношении содержания ионов железа (III) выявлены следующие превышения значения ПДК (0,5 мг/л): в Ушачском и Сенненском районах в 1,2 раза, в Бешенковичском в 2 раза, в Витебском в 1,3 раза. В водоемах Шумилинского и Дубровенского районов содержание ионов Fe<sup>3+</sup> значение ПДК не превышало.

При сравнении содержания ионов цинка (II) со значением ПДК (0,1 мг/л) были выявлены следующие превышения: Ушачский район – в 5,7 раза, Шумилинский район – в 5,6 раза, Сенненский район – в 9,5 раза, Витебский район – в 17,8 раза, Дубровенский район – в 4,4 раза. В Бешенковичском районе концентрация ионов Zn<sup>2+</sup> в пробах воды находится на границе с предельно допустимой концентрацией.

При сравнении содержания ионов меди (II) в пробах воды из исследуемых водоемов со значениями ПДК (1 мг/л) были установлены следующие превышения: Витебский район – в 3,1 раза, Дубровенский район – в 1,2 раза. В пробах воды Сенненского, Ушачского, Шумилинского и Бешенковичского районов содержание ионов Cu<sup>2+</sup> не превышает ПДК.

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 стоками с сельскохозяйственных угодий.

Для характеристики воды из водоемов также установлено содержание сульфат-ионов и катионов, обуславливающих жесткость воды (табл. 3).

Таблица 3

**Содержание сульфат-ионов (мг/л) и катионов, обуславливающих жесткость воды (еЖ – 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 <sup>5,7</sup>	0,93±0,066 <sup>6</sup>	8,1±0,18
Дубровенский р-н	38,19±0,42 <sup>7</sup>	0,73±0,066 <sup>5</sup>	6,1±0,07 <sup>3,4</sup>
Бешенковичский р-н	22,46±0,60 <sup>2,4,7</sup>	0,53±0,066 <sup>2,4</sup>	4,1±0,06 <sup>4,6</sup>
Ушачский р-н	4,60±0,71 <sup>7</sup>	0,33±0,067	2,3±0,32 <sup>2</sup>
Шумилинский р-н	15,11±0,78 <sup>3,4,7</sup>	0,47±0,066 <sup>3,4</sup>	2,7±0,03 <sup>1</sup>
Сенненский р-н	19,61±0,47 <sup>2,3,7</sup>	0,53±0,067 <sup>2,3</sup>	4,1±0,07 <sup>3,6</sup>

**Примечание:** <sup>1</sup>p < 0,05 по сравнению с Ушачским районом; <sup>2</sup>p < 0,05 по сравнению с Шумилинским районом; <sup>3</sup>p < 0,05 по сравнению с Бешенковичским районом; <sup>4</sup>p < 0,05 по сравнению с Сенненским районом; <sup>5</sup>p < 0,05 по сравнению с Витебским районом; <sup>6</sup>p < 0,05 по сравнению с Дубровенским районом; <sup>7</sup>p < 0,05 по сравнению с ПДК.

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 на следующие: мягкая вода – Ушачский, Шумилинский районы; вода средней жесткости – Бешенковичский, Сенненский и Дубровенский районы; жесткая вода – Витебский район. В пробах воды из Витебского и Дубровенского районов отмечены максимальные значения карбонатной и общей жесткости.

Концентрации катионов рассчитаны на основе градуировочных смесей, приготовленных из растворов соответствующих государственных стандартных образцов, и имеют усредненное из пяти значение. Полученные результаты приведены в табл. 4.

Таблица 4

**Содержание катионов (мг/л) в природных водоемах Витебской области**

Район отбора проб воды (n=5)	Показатель					
	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Sr <sup>2+</sup>	Ca <sup>2+</sup>
Витебский р-н	450,2 <sup>6,7</sup>	274,5 <sup>1,2,4,6,7</sup>	2015,0 <sup>7</sup>	714,1 <sup>7</sup>	–	2965,0 <sup>7</sup>
Дубровенский р-н	430,4 <sup>5,7</sup>	363,2 <sup>5,7</sup>	198,9 <sup>1,2,4,7</sup>	435,9 <sup>3,4,7</sup>	–	1625,0 <sup>3,4,7</sup>
Бешенковичский р-н	–	633,7 <sup>7</sup>	513,9 <sup>7</sup>	437,3 <sup>4,6,7</sup>	–	1408,0 <sup>1,2,4,6,7</sup>
Ушачский р-н	–	121,5 <sup>2,4,5</sup>	158,2 <sup>2,4,6</sup>	250,5 <sup>2,7</sup>	–	962,2 <sup>2-4,7</sup>
Шумилинский р-н	–	145,0 <sup>1,4,5</sup>	142,1 <sup>1,4,6</sup>	259,2 <sup>1,7</sup>	–	963,9 <sup>1,3,4,7</sup>
Сенненский р-н	–	87,7 <sup>1,2,5</sup>	288,6 <sup>1,2,6,7</sup>	403,6 <sup>3,6,7</sup>	–	1480,0 <sup>1-3,6,7</sup>

**Примечание:** <sup>1</sup>p < 0,05 по сравнению с Ушачским районом; <sup>2</sup>p < 0,05 по сравнению с Шумилинским районом; <sup>3</sup>p < 0,05 по сравнению с Бешенковичским районом; <sup>4</sup>p < 0,05 по сравнению с Сенненским районом; <sup>5</sup>p < 0,05 по сравнению с Витебским районом; <sup>6</sup>p < 0,05 по сравнению с Дубровенским районом; <sup>7</sup>p < 0,05 по сравнению с ПДК.

Результаты проведенных исследований показали, что ПДК катионов аммония (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>) значительно превышена в водоемах Витебского и Дубровенского районов в 181 и 172 раза соответственно. В остальных водоемах катионов аммония зафиксировано не было.

При определении концентрации катионов калия ( $K^+$ ) превышения ПДК были установлены в пробах воды из Бешенковичского района в 3,1 раза, Витебского в 1,3 раза и Дубровенского в 1,8 раза. В пробах воды из водоемов Ушачского, Шумилинского и Сенненского районов содержание  $K^+$  не превышает допустимые значения ПДК.

При определении содержания катионов натрия ( $Na^+$ ) превышения ПДК были зафиксированы в пробах воды Бешенковичского района в 2,5 раза, Сенненского в 1,4 раза, Витебского в 10 раз. В пробе воды Дубровенского района концентрация катионов  $Na^+$  находится на границе с ПДК. В образцах воды из Ушачского и Шумилинского районов превышений ПДК по этому показателю не установлено.

Превышения концентрации катионов магния ( $Mg^{2+}$ ) по сравнению с ПДК были обнаружены в пробах воды из всех исследуемых водоемов. Наибольшее содержание катионов магния было выявлено в образцах воды из Витебского района, превышающее ПДК в 7,1 раза.

Катионы стронция ( $Sr^{2+}$ ) в исследуемых образцах воды не были установлены.

При определении концентрации катионов кальция ( $Ca^{2+}$ ) превышения ПДК были обнаружены во всех водоемах. Наибольшая концентрация ионов кальция установлена в образцах воды из Витебского района (выше ПДК в 14,8 раза).

Для оценки степени влияния состава почв прибрежной зоны водоемов в почвенных вытяжках определены концентрации ионов тяжелых металлов, высокое содержание которых может приводить к деградации почвенного покрова (табл. 5).

Таблица 5

Содержание ионов тяжелых металлов в почве прибрежной зоны водоемов (мг/кг) ( $M \pm m$ )

Район отбора проб почвы (n=9)	$Cu^{2+}$	$Fe^{3+}$	$Zn^{2+}$
Витебский р-н	$1,19 \pm 0,177^{1, 2, 4, 7}$	$4,36 \pm 0,101^7$	$46,04 \pm 2,363^7$
Дубровенский р-н	$0,55 \pm 0,080^7$	$2,78 \pm 0,192^{6, 7}$	$106,89 \pm 0,451$
Бешенковичский р-н	$0,51 \pm 0,089^7$	$7,67 \pm 0,0336^{3-7}$	$59,15 \pm 1,272^7$
Ушачский р-н	$0,72 \pm 0,128^7$	$2,36 \pm 0,062^{6, 7}$	$135,06 \pm 1,722^7$
Шумилинский р-н	$0,44 \pm 0,050^7$	$5,49 \pm 0,837^{1, 3, 5}$	$31,41 \pm 0,601^7$
Сенненский р-н	$0,43 \pm 0,052^7$	$5,56 \pm 0,047^{3, 5-7}$	$42,43 \pm 0,832^7$

**Примечание:** <sup>1</sup>p < 0,05 по сравнению с почвой, взятой в Бешенковичском районе; <sup>2</sup>p < 0,05 по сравнению с почвой, взятой в Шумилинском районе; <sup>3</sup>p < 0,05 по сравнению с почвой, взятой в Ушачском районе; <sup>4</sup>p < 0,05 по сравнению с почвой, взятой в Сенненском районе; <sup>5</sup>p < 0,05 по сравнению с почвой, взятой в Дубровенском районе; <sup>6</sup>p < 0,05 по сравнению с почвой, взятой в Витебском районе; <sup>7</sup>p < 0,05 по сравнению с ПДК.

Наибольшая концентрация ионов меди (II) установлена в почве Витебского района, а наименьшая – в почвах Шумилинского и Сенненского районов, значения отличаются между собой в 2,8 раза. Значение в Дубровенском районе отличается от значения в Витебском районе в 2,2 раза, в Бешенковичском в 2,2 раза, в Ушачском в 1,7 раза. При сравнении значений содержания ионов меди (II) со значением ПДК 3,0 мг/кг почвы превышений не выявлено.

Наибольшая концентрация ионов железа (III) установлена в почве Бешенковичского района, а наименьшая – в почве Ушачского района, значения отличаются между собой в 3,3 раза. Значение в Бешенковичском районе отличается от значения в Витебском районе в 1,7 раза, в Дубровенском районе в 2,7 раза, в Шумилинском и Сенненском районах отличия статистически незначимы. При сравнении полученных данных с ПДК железа (III) – 5,0 мг/кг почвы выявлены превышения в Бешенковичском районе в 1,5 раза.

Наибольшая и наименьшая концентрация ионов цинка (II) установлена в Ушачском и Шумилинском районах соответственно, значения отличаются между собой в 4,3 раза. Значение в Ушачском районе превышает значение в Витебском районе в 2,9 раза, в Дубровенском – 1,3 раза, в Бешенковичском – в 2,3 раза, в Сенненском – в 3,2 раза. При сравнении полученных данных со значением ПДК цинка (II) – 23,0 мг/кг почвы установлено превышение содержания ионов цинка (II) в почвах всех исследуемых районов: в Витебском – в 2,0 раза, в Дубровенском – в 4,6 раза, в Бешенковичском – в 2,6 раза, в Ушачском – в 5,8 раза, в Шумилинском – в 1,3 раза, в Сенненском – в 1,8 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.

На следующем этапе была определена активность ферментов, являющихся показателями эколого-функционального состояния почвы (табл. 6).

Таблица 6

**Ферментативная активность почв прибрежной зоны водоемов ( $M \pm m$ )**

Район отбора проб почвы (n=9)	Активность каталазы (см <sup>3</sup> O <sub>2</sub> / г за 1 мин)	Активность протеазы (мг альбумина / 10 г за 24 ч)	Активность уреазы (мг NH <sub>3</sub> / 10 г за 24 ч)
Витебский р-н	2,62±0,082 <sup>7</sup>	1,53±0,015 <sup>7</sup>	105,01±0,340 <sup>7</sup>
Дубровенский р-н	4,52±0,054 <sup>3, 6, 7</sup>	0,59±0,072 <sup>3, 7</sup>	25,74±0,915 <sup>6, 7</sup>
Бешенковичский р-н	6,56±0,085 <sup>3-7</sup>	6,47±1,640 <sup>4-7</sup>	44,21±0,677 <sup>2-7</sup>
Ушачский р-н	3,25±0,062 <sup>6, 7</sup>	6,74±1,099 <sup>6, 7</sup>	18,05±0,703 <sup>4-7</sup>
Шумилинский р-н	2,44±0,019 <sup>1, 3-7</sup>	0,97±0,235 <sup>1, 3, 6, 9</sup>	6,29±0,249 <sup>3-7</sup>
Сенненский р-н	3,64±0,037 <sup>3, 5-7</sup>	1,28±0,105 <sup>3, 5, 7</sup>	51,93±0,745 <sup>5-7</sup>

**Примечание:** <sup>1</sup>p < 0,05 по сравнению с почвой, взятой в Бешенковичском районе; <sup>2</sup>p < 0,05 по сравнению с почвой, взятой в Шумилинском районе; <sup>3</sup>p < 0,05 по сравнению с почвой, взятой в Ушачском районе; <sup>4</sup>p < 0,05 по сравнению с почвой, взятой в Сенненском районе; <sup>5</sup>p < 0,05 по сравнению с почвой, взятой в Дубровенском районе; <sup>6</sup>p < 0,05 по сравнению с почвой, взятой в Витебском районе; <sup>7</sup>p < 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 одновременно действие ряда ферментов, представляющих различные группы. Ферменты исключают накопление избытка подвижных простых соединений путем связывания и направления в циклы, завершающиеся образованием более сложных соединений [6].

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 [9].

Наибольшая активность каталазы установлена в Бешенковичском районе, а наименьшая – в Шумилинском, значения отличаются между собой в 2,7 раза. Значение в Бешенковичском районе превышает значение в Витебском районе в 2,5 раза, в Дубровенском – в 1,5 раза, в Ушачском – в 2,0 раза, в Сенненском – в 1,8 раза. При сравнении полученных данных со шкалой активности каталазы определено, что активность фермента в Дубровенском, Бешенковичском, Ушачском и Сенненском районах является средней, в Шумилинском и Витебском районах – слабой.

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 [10].

Наибольшая активность протеазы установлена в Ушачском районе, наименьшая – в Дубровенском, значения отличаются между собой в 11,4 раза. Значение в Ушачском районе превышает значение в Витебском районе в 4,4 раза, в Шумилинском – в 6,6 раза, в Сенненском – в 5,3 раза, в Бешенковичском районе отличия статистически незначимы. При сравнении полученных данных со шкалой активности протеазы установлено: в Витебском и Сенненском районах активность фермента является

средней, в Дубровенском и Шумилинском районах – слабой, в Бешенковичском и Ушачском районах – очень высокой.

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, 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 [10].

Наибольшая активность уреазы установлена в Витебском районе, а наименьшая – в Шумилинском, значения отличаются между собой в 16,6 раза. Значение в Витебском районе превышает значение в Бешенковичском в 2,4 раза, в Дубровенском – в 4,1 раза, в Ушачском – в 5,8 раза, в Сенненском – в 2,0 раза.

При сравнении полученных данных со шкалой активности уреазы установлено: в Дубровенском и Ушачском районах средняя активность фермента, в Шумилинском – слабая, в Бешенковичском и Сенненском – высокая, в Витебском районе активность фермента очень высокая.

Уровень ферментативной активности и содержание тяжелых металлов в почве выступают как эффективные диагностические показатели при оценке степени антропогенной нагрузки, уровня деградации почвы и загрязнения природных водоемов.

Прибрежная зона реки Витьба Витебского района является наиболее загрязненной по содержанию тяжелых металлов в почве, что соответственно отражается на активности почвенных ферментов. Это объясняется тем, что предприятия города используют реку в промышленных целях, осуществляют в нее сброс сточных вод, одновременно ситуация усугубляется активным использованием берега реки в качестве зон отдыха в летний сезон, а также парковки автомобилей вблизи водоема. Прибрежные зоны озер Дубровское Ушачского района и Будовесь Шумилинского района испытывают низкую антропогенную нагрузку, так как находятся относительно далеко от крупных промышленных центров и крупных автомагистралей, не применяются в промышленных и сельскохозяйственных целях, в них не осуществляется сброс стоковых вод [11].

**Заключение.** В результате проведенных исследований было определено содержание ионов тяжелых металлов в пробах воды и почвы, изучена активность ферментов, проведен системно-экологический анализ содержания ионов металлов в почве и ее ферментативной активности при различной антропогенной нагрузке, выявлены особенности показателей метаболизма легочных пресноводных моллюсков с учетом сезонных изменений.

Изучение подвижных форм металлов в почвах прибрежной зоны ( $\text{Cu}^{2+}$ ,  $\text{Fe}^{3+}$ ,  $\text{Zn}^{2+}$ ) в шести районах Витебской области показало, что концентрация ионов железа превышает ПДК в Бешенковичском и Сенненском районах, в Витебском районе находится на границе ПДК, содержание ионов меди превышает ПДК в Витебском районе, концентрация ионов цинка превышает ПДК во всех исследуемых районах.

Выявлено, что активность ферментов в почве зависит от содержания тяжелых металлов в ней. Чем больше концентрация тяжелых элементов в почве, тем слабее активность каталазы и протеазы, выше активность уреазы.

Почвы прибрежной зоны водоемов Витебского, Бешенковичского, Дубровенского и Сенненского районов наиболее загрязнены тяжелыми металлами, что отражается на активности ферментов (слабая или средняя активность каталазы и протеазы и средняя или высокая активность уреазы).

По результатам катионного состава проб воды видно, что относительно чистыми можно считать водоемы Ушачского и Шумилинского районов. По этим показателям самыми загрязненными оказались водоемы Витебского, Дубровенского, Бешенковичского и Сенненского районов.

Таким образом, на основании полученных данных может быть создан алгоритм установления экологического состояния природных водоемов посредством анализа простых и доступных методик исследования почв прибрежной зоны и воды.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Айдаров, И.П. К проблеме экологического возрождения речных бассейнов / И.П. Айдаров, Е.В. Веницианов, Д.Я. Раткович // Водные ресурсы. – 2002. – Т. 29. – № 2. – С. 240–252.
2. Булгаков, Н.Г. Индикация состояния природных экосистем и нормирование факторов окружающей среды. Обзор существующих подходов / Н.Г. Булгаков // Успехи современ. биол. – 2002. – Т. 122, № 2. – С. 115–135.
3. Жерносек, А.К. Физико-химические методы анализа / А.К. Жерносек, И.С. Борисевич. – Витебск: УО «ВГУ им. П.М. Машерова», 2012. – 12 с.
4. Аринушкина, Е.В. Руководство по химическому анализу почв / Е.В. Аринушкина. – М.: Изд-во МГУ, 1970. – 471 с.
5. Орлов, Д.С. Почвенно-экологический мониторинг и охрана почв / Д.С. Орлов, В.Д. Васильевская. – М.: Изд-во МГУ, 1994. – 272 с.
6. Звягинцев, Д.Г. Биология почв / Д.Г. Звягинцев. – М.: МГУК, 2005. – 241 с.
7. Хазиев, Ф.Х. Методы почвенной энзимологии / Ф.Х. Хазиев. – М.: Наука, 2005. – 252 с.
8. Галстян, А.Ш. Диагностика эродированных почв по активности ферментов / А.Ш. Галстян // Проблемы и методы биологической диагностики почв. – М.: Наука, 1976. – С. 317–328.
9. Казеев, К.Ш. Биологическая диагностика и индикация почв: методология и методы исследований / К.Ш. Казеев, С.И. Колесников, В.Ф. Вальков. – Ростов н/Д: Изд-во ЦВВР, 2003. – 104 с.
10. Безуглова, О.С. Урбопочвоведение: учебник / О.С. Безуглова, С.Н. Горбов, И.В. Морозов, Д.Г. Невидомская. – Ростов н/Д: Изд-во ЮФУ, 2012. – 264 с.
11. Гальцева, В.В. Практикум по водной экологии и мониторингу состояния водных систем / В.В. Гальцева, В.В. Дмитриев. – СПб., 2007. – 364 с.

## REFERENCES

1. Aidarov I.P., Venitsianov E.V., Ratkovich D.Ya. *Vodniye resursy* [Water Resources], 2002, 2(29), pp. 240–252.
2. Bulgakov N.G. *Uspekhi sovremen. biol.* [Advances of the Contemporary Biology], 2002, 2(122), pp. 115–135.
3. Zhernosek A.K., Borisevich I.S. *Fiziko-khimicheskiye metody analiza* [Physical and Chemical Methods of Analysis], Vitebsk: UO «VGU im. P.M. Masherova», 2012, 12 p.
4. Arinushkina E.V. *Rukovodstvo po khimicheskomu analizu pochv* [Guidelines on Chemical Analysis of Soils], M.: Izd-vo MGU, 1970, 471 p.
5. Orlov D.S., Vasilyevskaya V.D. *Pochvenno-ekologicheski monitoring i okhrana pochv* [Soil and Ecological Monitoring and Soil Protection], M.: Izd-vo MGU, 1994, 272 p.
6. Zviagintsev D.G. *Biologiya pochv* [Soil Biology], M.: MGUK, 2005, 241 p.
7. Khaziyev F.Kh. *Metodi pochvennoi enzimologii* [Methods of Soil Enzymology], M.: Nauka, 2005, 252 p.
8. Galstian A.Sh. *Problemi i metody biologicheskoi diagnostiki pochv* [Problems and Methods of Soil Biological Diagnostics], M.: Nauka, 1976, pp. 317–328.
9. Kazeyev K.Sh., Kolesnikov S.I., Valkov V.F. *Biologicheskaya diagnostika i indikatsiya pochv: metodologiya i metody issledovaniy* [Biological Diagnostics and Indication of Soils: Methodology and Methods of Studies], Rostov-na-Donu: Izd-vo TsVVR, 2003, 104 p.
10. Bezuglova O.S., Gorbov S.N., Morozov I.V., Nevidomskaya D.G. *Urbopochvovedeniye: uchebnik* [Urban Soil Studies: Textbook], Rostov-on-the-Don: Izd-vo YuFU, 2012, 264 p.
11. Galtseva V.V., Dmitriyev V.V. *Praktikum po vodnoi ekologii i monitoringu sostoyaniya vodnykh system* [Practice Book on Water Ecology and Water System Monitoring], SPb., 2007, 364 p.

Поступила в редакцию 11.04.2019

Адрес для корреспонденции: e-mail: olgabal.tih@gmail.com – Балаева-Тихомирова О.М.