

УДК [577.15:579.68(574.63:579.22)](285.3)

Е. В. Старосила

**АКТИВНОСТЬ КАТАЛАЗЫ В ДОННЫХ
ОТЛОЖЕНИЯХ РАЗНОТИПНЫХ ВОДНЫХ
ОБЪЕКТОВ, РАСПОЛОЖЕННЫХ НА
УРБАНИЗИРОВАННОЙ ТЕРРИТОРИИ**

Приведены данные об активности разложения перекиси водорода в донных отложениях водотоков и водоемов, расположенных на урбанизированной территории г. Киева. Суммарный распад перекиси водорода в донных отложениях исследованных водных объектов во все сезоны варьировал в широких пределах — от 0,024 до 0,838 мг H_2O_2 /г·ч. При расчете суммарной активности учитывали ферментативный и неферментативный пути распада перекиси водорода в донных отложениях. При участии каталазы разлагалось 0—0,454, а неферментативным путем — 0—0,816 мг H_2O_2 /г·ч. Величины суммарного распада перекиси водорода в донных отложениях водных объектов, а также доли ферментативного и неферментативного разложения варьировали в зависимости от типа водного объекта, сезона, степени антропогенного загрязнения, характера донных отложений. Установлено ингибирование ферментативной активности в донных отложениях на участках наибольшего загрязнения. Высокая доля неферментативного распада H_2O_2 в донных отложениях может быть предварительным тестом на токсичность при биотестировании природных вод, а также биомаркером урбанизации и антропопрессии.

Ключевые слова: каталаза, ферментативная активность, неферментативная активность, донные отложения, урбанизированные территории, водные объекты.

В современном мире процессы урбанизации становятся все интенсивнее, масштабы городов постоянно увеличиваются. Компоненты окружающей среды на урбанизированных территориях подвергаются различным преобразованиям вследствие интенсивной человеческой деятельности, испытывают постоянное техногенное давление. Состояние водных объектов городских территорий требует особого внимания, поскольку влияние транспорта, дорожных коммуникаций, промышленности, многочисленных застроек, рекреационной нагрузки, организованных и неконтролируемых сбросов сточных вод оказывают постоянную нагрузку на них. Все это приводит к изменению направленности микробиологических и биохимических процессов в воде и донных отложениях водных объектов и существенному ухудшению их экологического состояния [3, 10, 22, 24, 36].

© Е. В. Старосила, 2019

Бактериальное население водных объектов наиболее быстро и чувствительно реагирует на внешние воздействия путем изменения структурных и функциональных характеристик сообщества, и таким образом адекватно отражает изменения, происходящие в водной среде и донных отложениях водоемов и водотоков, испытывающих антропогенное загрязнение [10, 24, 33].

Поступающие в водные объекты загрязнения вследствие физико-химических и биологических процессов, в основном, осаждаются и сорбируются донными отложениями. Бактерии донных отложений, обладая широким спектром ферментов, способны утилизировать загрязнения различного характера. Более того, активность некоторых ферментов может служить биологическим маркером наличия загрязняющих веществ в воде и донных отложениях [12, 18, 19, 27, 29, 30, 32, 34]. Один из таких ферментов — каталаза. Определение активности этого фермента позволяет быстро оценить интенсивность функционирования и адаптационные возможности микроорганизмов, способствующие их выживанию в различных условиях среды обитания. Угнетение активности фермента каталазы может свидетельствовать об изменениях экологических условий в донных отложениях, возникающих, например, в результате антропогенного загрязнения водных объектов. Распад H_2O_2 в воде и донных отложениях может происходить как ферментативным, так и неферментативным путем, то есть за счет минеральных и органических катализаторов [19, 26—28, 31, 32, 35].

Целью нашей работы было определение суммарного, ферментативного и химического разложения перекиси водорода в донных отложениях разнотипных водных объектов, расположенных на урбанизированной территории.

Материал и методика исследований. В статье представлены результаты мониторинга, проведенного в течение вегетационных периодов 2011—2012 гг. на водных объектах, расположенных в пределах г. Киева. Материалом исследований служили донные отложения, отобранные в лотических и лентических водных объектах. К первым отнесли русловые водные объекты придаточной системы (верхний и нижний участки рукава р. Десенки, выход из Русановского пролива) и участки верхней части Каневского водохранилища (вблизи зал. Собачье Гирло, в районе парка «Наводницкий»). Лентические водоемы были представлены озерами Редькино и Опечень Нижнее, двумя водоемами Троещинской мелиоративной системы. Перечисленные объекты характеризуются различным режимом проточности, морфометрическими характеристиками и характером береговой линии (например, бетонное укрепление берегов), наличием несанкционированных коллекторов, подвергаются разнофакторному антропогенному воздействию и рекреационной нагрузке.

Донные отложения в водных объектах имели различный характер: на верхнем участке рукава р. Десенки они были представлены заиленными песками, на нижнем — черными детритными илами; в нижней части Русановского пролива — заиленными песками с устойчивым запахом нефтепродуктов; выше зал. Собачье Гирло и в районе парка «Наводницкий» — детритными илами, часто с запахом нефтепродуктов и дизельного топлива; в оз. Редь-

кино — заиленными песками (глубина до 3 м); в оз. Опечень Нижнее — детритными илами с отчетливым запахом нефтепродуктов и сероводорода (глубина до 6 м); в «верхнем» и «нижнем» водоемах Троещинской мелиоративной системы соответственно — заиленными песками и детритными илами с отчетливым запахом нефтепродуктов.

Для анализов использовали верхний слой (до 5 см) отобранных дночерпателем (СДЧ-100) отложений. Активность каталазы в них определяли титриметрическим методом, основанным на измерении количества неразложившейся перекиси водорода при ее взаимодействии с отложениями [20]. Расчет активности каталазы выполняли по формуле, учитывающей суммарное, ферментативное и неферментативное (минеральными и органическими катализаторами отложений) разложение перекиси водорода:

$$AK = \frac{(K_2 - O) \cdot 0,1 \cdot 1,7 \cdot 2}{T},$$

где АК — суммарное разложение перекиси водорода, мг H_2O_2 /г·ч; K_2 — количество перманганата калия, израсходованное на титрование контроля 2, см³; O — количество перманганата калия, израсходованное на титрование опыта, см³; 0,1 — титр перманганата калия; 1,7 — пересчетный коэффициент; 2 — пересчет на весь объем реакционной смеси; T — экспозиция, ч.

Расчет неферментативного разложения перекиси водорода проводили по формуле:

$$НФ = \frac{(K_2 - K_1) \cdot 0,1 \cdot 1,7 \cdot 2}{T},$$

где НФ — неферментативное разложение перекиси водорода, мг H_2O_2 /г·ч; K_1 — количество перманганата калия, израсходованное на титрование контроля 1, см³.

Расчет ферментативного разложения перекиси водорода осуществляли вычитанием неферментативного разложения перекиси водорода из суммарного.

Результаты исследований и их обсуждение

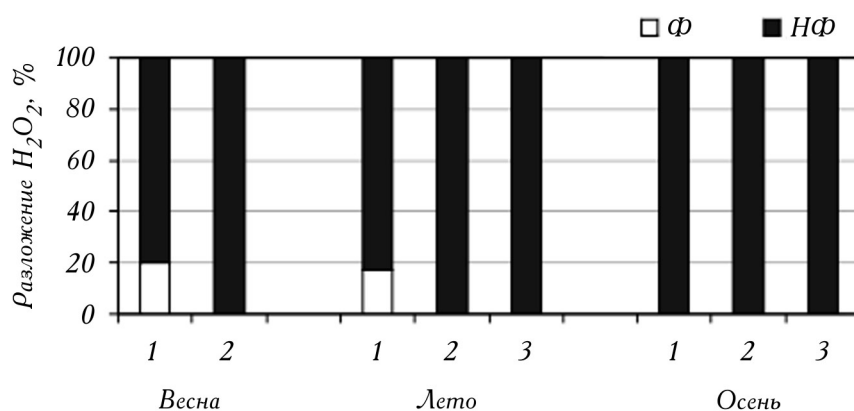
Рукав р. Десенки и Русановский пролив. Весной в донных отложениях всех исследованных участков суммарное разложение перекиси водорода колебалось от 0,027 до 0,730 мг H_2O_2 /г·ч. При участии каталазы разлагалось 0—0,005, а неферментативным путем — 0,022—0,730 мг H_2O_2 /г·ч (таблица). Следует отметить, что в заиленных песках нижнего участка рукава (район Русановских садов и дачных участков) распад H_2O_2 происходил только химическим путем (рис. 1).

В летний период суммарное разложение перекиси водорода в донных отложениях исследованных станций составляло 0,098—0,558 мг H_2O_2 /г·ч. Ферментативным путем разлагалось 0—0,016, а неферментативным —

Активность разложения перекиси водорода в донных отложениях исследуемых водных объектов за вегетационный период

Водные объекты и станции отбора проб	Сезоны	Разложение перекиси водорода, мг H ₂ O ₂ /г·ч		
		суммарное	ферментативное	неферментативное
Рукав р. Десенки				
Верхний участок	Весна	0,027	0,005	0,022
	Лето	0,098	0,016	0,082
	Осень	0,038	0	0,038
Нижний участок	Весна	0,730	0	0,730
	Лето	0,545	0	0,545
	Осень	0,037	0	0,037
Русановский пролив				
Выход из пролива	Весна	×	×	×
	Лето	0,558	0	0,558
	Осень	0,126	0	0,126
Верхняя часть Каневского водохранилища				
Выше залива Собачье Гирло	Весна	0,355	0,037	0,318
	Лето	0,838	0,454	0,384
	Осень	0,380	0	0,380
В районе парка «Наводницкий»	Весна	0,615	0,231	0,384
	Лето	0,816	0	0,816
	Осень	0,182	0,127	0,055
Озера				
Редькино	Весна	0,032	0,005	0,027
	Лето	0,110	0	0,110
	Осень	0,030	0,003	0,027
Опечень Нижнее	Весна	0,024	0	0,024
	Лето	0,462	0	0,462
	Осень	0,070	0	0,070
Троецинская мелиоративная система				
«Верхний» водоем	Весна	0,046	0	0,046
	Лето	0,365	0,107	0,258
	Осень	×	×	×
«Нижний» водоем	Весна	0,150	0,070	0,080
	Лето	0,160	0,080	0,080
	Осень	×	×	×

П р и м е ч а н и е. «×» — не определяли.



1. Доля ферментативного (Ф) и неферментативного (НФ) разложения перекиси водорода в донных отложениях рукава р. Десенки (1 — верхний участок; 2 — нижний участок) и Русановского пролива (3) по сезонам.

0,082—0,558 мг H_2O_2 /г.ч. В заиленных песках верхнего участка 4/5 перекиси водорода распадалось химическим путем. Донные отложения нижнего участка рукава и Русановского пролива характеризовались наибольшими суммарными величинами и 100%-ным химическим разложением H_2O_2 .

В осенний период в донных отложениях изученных станций суммарное разложение перекиси водорода колебалось в широких пределах — от 0,037 до 0,126 мг H_2O_2 /г.ч. Также для этих станций отмечали 100%-ным химический путь распада H_2O_2 в донных отложениях.

Таким образом, летом средние величины суммарного разложения перекиси водорода в донных отложениях были подобны показателям, зарегистрированным весной. Осенью эти показатели снизились в среднем в 5,8 раза по сравнению с зарегистрированными в другие сезоны.

Во все сезоны в донных отложениях исследованных участков рукава р. Десенки и Русановского пролива распад H_2O_2 осуществлялся, в основном, неферментативный путем. Исключением был верхний участок, где весной и летом отмечали оба процесса — ферментативный (до 20%) и неферментативный (более 80%) распад перекиси водорода. Такое распределение между ферментативным и химическим распадом перекиси водорода связано, возможно, с тем, что слабая проточность этого участка и незначительное антропогенное загрязнение способствуют интенсивному развитию альгофлоры донных отложений [14], которая также может продуцировать фермент каталазу. Значительное антропогенное воздействие на нижний участок рукава р. Десенки и Русановского пролива — рекреационная нагрузка, поверхностный сток с прилегающих урбанизированных территорий, зоны многочисленных застроек по берегам, организованный и неконтролируемый сброс сточных вод, транспортное движение — привело к изменению экологического состояния донных отложений и, как следствие, подавлению в них ак-

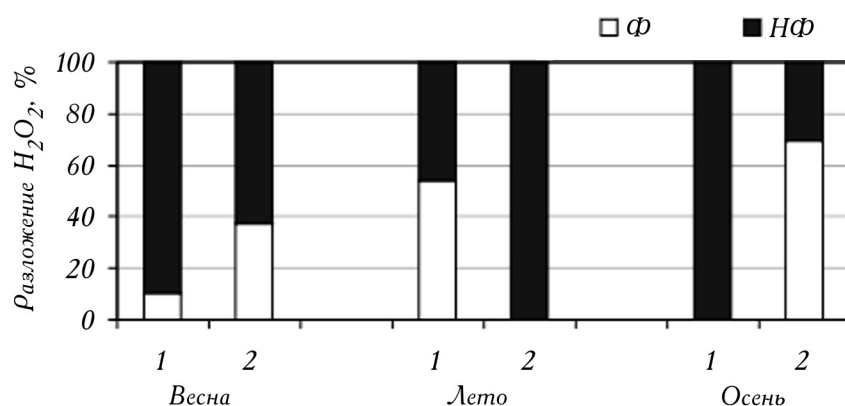
тивности каталазы. Поэтому распад перекиси водорода в донных отложениях этих участков происходил преимущественно химическим путем.

Верхняя часть Каневского водохранилища. В весенний период в донных отложениях выше зал. Собачье Гирло и в районе парка «Наводницкий» суммарное разложение перекиси водорода колебалось в пределах 0,355—0,615 мг $\text{H}_2\text{O}_2/\text{г}\cdot\text{ч}$. При участии каталазы разлагалось 0,037—0,231, а неферментативным путем — 0,318—0,384 мг $\text{H}_2\text{O}_2/\text{г}\cdot\text{ч}$ (см. таблицу). Следует отметить, что в илах большая часть (62,4—89,7%) суммарного распада H_2O_2 приходилась на химическое разложение (рис. 2).

Летом суммарное разложение перекиси водорода в иловых отложениях исследованных станций составляло 0,816—0,838 мг $\text{H}_2\text{O}_2/\text{г}\cdot\text{ч}$. Ферментативным путем разлагалось 0—0,454, а неферментативным — 0,384—0,816 мг $\text{H}_2\text{O}_2/\text{г}\cdot\text{ч}$. В донных отложениях выше зал. Собачье Гирло ферментативный и химический распад H_2O_2 были практически уравновешены. В илах в районе парка «Наводницкий» разложение перекиси водорода происходило полностью неферментативным путем. Следует отметить, что донные отложения верхней части Каневского водохранилища в этот период характеризовались наибольшими суммарными величинами разложения перекиси водорода по сравнению со всеми другими исследуемыми станциями.

В осенний период в донных отложениях изученных станций суммарное разложение перекиси водорода было от 0,182 до 0,380 мг $\text{H}_2\text{O}_2/\text{г}\cdot\text{ч}$. При участии фермента каталазы распадалось 0—0,127, а химическим путем — 0,055—0,380 мг $\text{H}_2\text{O}_2/\text{г}\cdot\text{ч}$. В донных отложениях выше зал. Собачье Гирло распад перекиси водорода полностью протекал химическим путем, а для илов участка в районе парка «Наводницкий» наблюдали возрастание (до 70%) доли ферментативного распада H_2O_2 .

Итак, в сезонной динамике было отмечено, что летом в илах этих станций величины показателя суммарного распада перекиси водорода были в среднем в 1,7 раза выше, чем в весенний период. Для донных отложений выше зал. Собачье Гирло летом отмечали близкие к весенним величины неферментативного разложения H_2O_2 . Из литературы известно о зарегистрированных в летний период максимальных показателях видового и внутривидового разнообразия микрофитобентоса [15]. Возможно, отмеченная в летний период высокая доля распада H_2O_2 за счет фермента связана с интенсивным развитием в реке альгофлоры, которая также способна продуцировать фермент каталазу. Для участка в районе парка «Наводницкий» летом фиксировали максимальные величины химического распада перекиси водорода в донных отложениях по сравнению с другими изученными станциями, и эти значения были в 2,1 раза выше отмеченных весной. Такие изменения, возможно, связаны со значительной рекреационной нагрузкой на этом участке, судоходством, терригенным стоком с прилегающих территорий и городских коллекторов и, как следствие, неудовлетворительным качеством донных отложений, которые характеризовались также низкими показателями численности и биомассы донных организмов [2]. Осенью суммарные показатели разложения H_2O_2 в донных отложениях исследованных станций снизились в среднем соответственно в 1,7 и 2,9 раза по сравнению с показа-



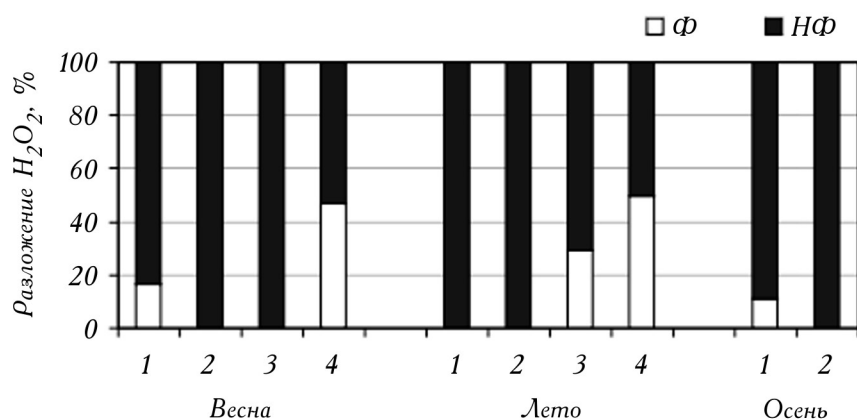
2. Доля ферментативного (Ф) и неферментативного (НФ) разложения перекиси водорода в донных отложениях верхней части Каневского водохранилища (1 — зал. Собачье Гирло; 2 — парк «Наводнички») по сезонам.

телями, зарегистрированными весной и летом. Преобладание в этот сезон химического распада перекиси водорода в донных отложениях выше зал. Собачье Гирло, вероятно, связано с интенсивной рекреационной нагрузкой на этот участок и накоплением загрязняющих веществ на протяжении сезона. На участке в районе парка отмечали самые низкие показатели суммарного распада H_2O_2 за весь сезон, что, возможно, связано с антропогенным влиянием, терригенным стоком с прилегающих территорий, рекреационной нагрузкой.

Сравнение суммарного разложения H_2O_2 в донных отложениях лотических водных объектов показало следующее. На протяжении вегетационного сезона в донных отложениях участков верхней части Каневского водохранилища эти показатели были в 1,3—4,2 раза выше величин, отмеченных на участках рукава р. Десенки и Русановского пролива. Это может свидетельствовать о большей антропогенной нагрузке на основное русло, по сравнению с придаточными системами.

Озеро Редькино. В весенний период в донных отложениях озера на глубине 3 м более 80% H_2O_2 распадалось химическим путем (см. таблицу, рис. 3). Летом в заиленных песках вся H_2O_2 в донных отложениях распадалась неферментативным путем. В осенний период в водном объекте более 4/5 перекиси водорода в донных отложениях распадалась химическим путем.

Для сезонной динамики в оз. Редькино было отмечено, что в летний период значения суммарного разложения перекиси водорода в донных отложениях на глубине были в среднем в 3,3 раза выше, чем зафиксированные на этой станции весной. Для осени было характерным снижение суммарного разложения H_2O_2 в заиленных песках озера в 3,7 раза по сравнению с летним периодом. А также ферментативный распад перекиси водорода был в 9 раз менее интенсивным, чем неферментативный. Хотя доля химического разложения перекиси водорода составляла более 88%, показатели нефер-



3. Доля ферментативного (Ф) и неферментативного (НФ) разложения перекиси водорода в донных отложениях озер Редькино (1) и Опечень Нижнее (2), водоемов Троешинской мелиоративной системы (3 — «верхний», 4 — «нижний») по сезонам.

ментативного распада H_2O_2 были в 4,1 раза ниже отмеченных летом и подобны весенним величинам. Наличие городских окружных транспортных путей, дачного поселка с нецентрализованной канализационной системой, терригенный сток с прилегающих территорий, интенсивная рекреационная нагрузка, аматорское рыболовство [23] привели к тому, что в целом за вегетационный сезон химический распад перекиси водорода в среднем превалировал над ферментативным. В поверхностном слое воды оз. Редькино в значительном количестве обнаружены нефтепродукты, что, как известно, отрицательно сказывается на ферментативном распаде H_2O_2 [1, 17]. Сезонные колебания ферментативного разложения перекиси водорода в донных отложениях озера также согласовывались с сезонным развитием микрофитобентоса, способного продуцировать фермент каталазу [6].

Озеро Опечень Нижнее. Значения суммарного, ферментативного и неферментативного распада перекиси водорода в донных отложениях с глубины 6 м водного объекта представлены в таблице и на рисунке 3.

Для сезонной динамики в оз. Опечень Нижнее было отмечено, что суммарный распад H_2O_2 в детритных илах полностью осуществлялся химическим путем. Летом значения суммарного и химического разложений перекиси водорода в донных отложениях были в 19,3 раза выше, чем зафиксированные весной. Осенью в детритных илах озера величины суммарного и неферментативного разложения были в 6,6 раза ниже по сравнению с летним сезоном. Каскадные озера системы Опечень связаны между собой водотоками и оз. Опечень Нижнее — крайнее в системе. Поэтому исследованный водный объект подвержен накоплению как принесенных из выше расположенных в каскаде водоемов загрязнений, так и веществ автохтонного и аллохтонного происхождения. Кроме того, озеро испытывает интенсивную рекреационную нагрузку. Все эти факторы способствовали превалирова-

нию на глубине водоема химического разложения перекиси водорода над ферментативным.

Расположение озер Редькино и Опечень Нижнее на урбанизированной территории города привело к тому, что на глубине озер в детритных илах во все сезоны преобладал химический путь распада перекиси водорода. Это может свидетельствовать об антропогенном загрязнении, возможном накоплении донными отложениями загрязняющих веществ, недоокисленных соединений, нефтепродуктов, тяжелых металлов, фенолов и т. п.

Водоёмы Троещинской мелиоративной системы. Весной в донных отложениях водоемов мелиоративной системы суммарное разложение перекиси водорода колебалось от 0,046 до 0,150 мг H_2O_2 /г·ч. При участии каталазы разлагалось 0—0,070, а неферментативным путем — 0,046—0,080 мг H_2O_2 /г·ч (см. таблицу). В донных отложениях «верхнего» водоема распад H_2O_2 был полностью за счет неферментативного пути, а в «нижнем» — ферментативное и химическое разложение перекиси водорода были уравновешенными (см. рис. 3).

Летом в донных отложениях водных объектов суммарное разложение перекиси водорода составляло 0,160—0,365 мг H_2O_2 /г·ч. Ферментативным путем разлагалось от 0,080 до 0,107, а неферментативным — 0,080—0,258 мг H_2O_2 /г·ч. В донных отложениях «верхнего» водоема распад перекиси водорода происходил на 1/3 за счет фермента, а в «нижнем» — ферментативное и химическое разложение перекиси водорода были уравновешенными.

В целом, за весенне-летний сезон в водоемах мелиоративной системы неферментативный распад перекиси водорода в среднем превалировал над ферментативным, либо они были уравновешеными. Летом значения суммарного и химического разложений перекиси водорода в донных отложениях были в среднем в 2,7 раза выше, чем весной. Зафиксированные изменения в процессах распада перекиси водорода в донных отложениях этих водоемов могут быть объяснены, например, качеством донных отложений и их локацией в водоемах, трансформацией береговой линии, антропогенной нагрузкой, уровнем развития других компонентов биоты, а именно высшей водной растительности, фитобентоса, зоопланктона, зообентоса [4—6, 21].

Таким образом, величины суммарного распада перекиси водорода в донных отложениях исследованных водных объектов, а также доли ферментативного и неферментативного разложения перекиси водорода варьировали в зависимости от типа водного объекта, сезона, степени антропогенного влияния и загрязнения, рекреационной нагрузки, а также характера донных отложений и их залегания. Установленные величины были характерными для водных объектов с различной трофностью и экологической ситуацией [19, 31, 32, 35, 36].

Известно, что ингибирующее действие на ферментативный процесс разложения перекиси водорода в донных отложениях водоемов оказывают вещества восстановленной природы биогенного и антропогенного происхож-

дения, нефть и продукты ее переработки, тяжелые металлы, пестициды, фенолы, а также недоокисленные соединения [11, 16, 17, 19, 25, 31, 32]. Также на антропогенно загрязненных участках водных объектов разрушение H_2O_2 в донных отложениях протекает вследствие химических реакций, так как в них могут возникать ниши, в которых протекают процессы метаногенеза, сульфатредукции, денитрификации, обуславливающие снижение окислительно-восстановительного потенциала. Известно, что низкий окислительно-восстановительный потенциал в донных отложениях водоемов регистрируют не только на глубине, но и в поверхностном слое, даже при хорошем кислородном режиме в воде [7—9, 13].

Пробы донных отложений исследованных водных объектов часто имели устойчивый запах нефтепродуктов, и при этом активность распада перекиси водорода за счет фермента каталазы в них была низкой или отсутствовала вообще. Преобладание неферментативного процесса разложения перекиси водорода над ферментативным в донных отложениях изученных водоемов г. Киева может также свидетельствовать о сдвиге в них редокс-потенциала в сторону восстановленных условий, присутствии недоокисленных соединений, тяжелых металлов, пестицидов, фенолов, катализирующих химический процесс распада H_2O_2 . С одной стороны, это может быть сигналом плохой экологической ситуации в водных объектах, расположенных на урбанизированной территории столицы. С другой стороны, химический распад перекиси водорода в донных отложениях этих водоемов может играть положительную роль в процессах улучшения экологического состояния объекта и способствовать жизнедеятельности гидробионтов.

Заключение

Суммарный распад перекиси водорода в донных отложениях исследованных водоемов во все сезоны находился в пределах 0,024—0,838 мг H_2O_2 /г·ч. Наивысшие значения этого параметра регистрировали в летний сезон для лотических водных объектов — в донных отложениях выше зал. Собачье Гирло и в районе парка «Наводницкий» (соответственно 0,838 и 0,816 мг H_2O_2 /г·ч), в лентических — для оз. Опечень Нижнее и «верхнего» водоема Троещинской мелиоративной системы (соответственно 0,462 и 0,365 мг H_2O_2 /г·ч).

Установлено ингибирование активности каталазы в донных отложениях (особенно детритных илах) на участках наибольшего загрязнения, что может быть связано как с постепенным накоплением в них токсических веществ, так и с оседанием на дне загрязнения внесенного, с терригенным стоком с прилегающих территорий. Угнетение ферментативной активности увеличивалось в летнее время. Разложение, в том числе химическим путем, перекиси водорода предохраняет бактериальные клетки от гибели. Вместе с тем, высокая доля химического распада перекиси водорода в донных отложениях связана, по-видимому, со значительным содержанием в них восстановленных соединений, при наличии которых могут проявляться условия острой токсичности для организмов высших трофических уровней. Таким образом, выявляемая при определении активности каталазы высокая доля неферментативного распада H_2O_2 может быть предварительным тестом на токсичность при биотестировании природных вод, а также использоваться в качестве биомаркера урбанизации и антропопрессии.

**

Досліджено розклад перекису водню у донних відкладах водотоків і водойм, розташованих на урбанізованій території м. Києва. Сумарний розклад перекису водню у донних відкладах вивчених водних об'єктів протягом вегетаційного сезону варіював у широких межах — від 0,024 до 0,838 мг H_2O_2 /г·год. Встановлено, що H_2O_2 у донних відкладах розкладається внаслідок ферментативного процесу та хімічним шляхом. Виявлено пригнічення активності ферменту каталази у донних відкладах водних об'єктів на ділянках найбільшого антропогенного забруднення. Значна частка неферментативного розкладу H_2O_2 у донних відкладах може бути попереднім тестом на токсичність при біотестуванні природних вод, а також біомаркером урбанізації та антропопресії.

**

The decomposition of hydrogen peroxide in the bottom sediments of water courses and water bodies of urbanized areas of Kyiv's City was investigated. The total decomposition of hydrogen peroxide in the bottom sediments of the studied water bodies during the vegetative growing season varied widely from 0,024 to 0,838 mg H_2O_2 /g·h. It was established that H_2O_2 in the bottom sediments decomposes as a result of the enzymatic and by chemical processes. The inhibition of the activity of the catalase enzyme in the bottom sediments of water objects in the sites due to their contamination was revealed. A significant proportion of non-enzymatic H_2O_2 decomposition in the bottom sediments can be a pioneer toxicity test for biotesting of natural waters, as well as a biomarker for urbanization and anthropopression.

**

1. Арсан О.М., Ситник Ю.М., Горбатьюк Л.О. та ін. Особливості формування сучасного еколого-токсикологічного стану водойм урбанізованих територій та його можливі зміни // Наук. зап. Терноп. пед. ун-ту. Сер. Біологія. Спец. вип. «Гідроекологія». — 2010. — Т. 43, № 2. — С. 14—17.
2. Волюков Ю.М., Рибка Т.С. Оцінка еколого-санітарного стану основного річкового русла київської ділянки Канівського водосховища за показниками макрозообентосу і зоопланктону // Наук. зап. Терноп. нац. пед. ун-ту. Сер. Біологія. — 2015. — Т. 64, № 3—4. — С. 100—103.
3. Гельцер Ю.Г. Показатели биологической активности в почвенных исследованиях // Почвоведение. — 1990. — № 9. — С. 47—60.
4. Гусейнова В.П., Рибка Т.С. Планктонні угруповання трансформованих водойм урбанізованих територій // Наук. зап. Терноп. пед. ун-ту. Сер. Біологія. — 2015. — Т. 64, № 3—4. — С. 163—166.
5. Давидов О.А., Ларіонова Д.П. Особливості розвитку діатомових водоростей мікрофітобентосу штучного водного об'єкту урбанізованої території (м. Київ) // Проблеми гідрології, гідрохімії, гідроекології: Матеріали 6 Всеукр. наук. конф. з міжнар. участю, 20—22 трав. 2014 р. — Дніпропетровськ: Акцент ПП, 2014. — С. 81—83.
6. Давидов О.А., Ларіонова Д.П. Оцінка трофічного статусу водних об'єктів лентичного типу урбанізованих територій за рівнем розвитку мікрофітобентосу // Наук. зап. Терноп. ун-ту. Сер. Біологія. — 2012. — Т. 53, № 4. — С. 42—44.

7. Дзюбан А.Н. Деструкция органического вещества и процессы превращения метана в донных отложениях Рыбинского водохранилища // Биология внутр. вод. — 2002. — № 1. — С. 43—50.
8. Дзюбан А.Н. Микробиологические процессы деструкции органического вещества и трансформации метана в донных отложениях озер Прибалтики // Там же. — 2004. — № 3. — С. 29—37.
9. Дзюбан А.Н. Оценка экологического состояния водохранилищ по критериям бактериобентоса // Гидробиол. журн. — 2004. — Т. 40, № 4. — С. 73—79.
10. Забелина О.Н. Оценка экологического состояния почвы городских рекреационных территорий на основании показателей биологической активности (на примере г. Владимира): Рукопись дис. ... канд. биол. наук. — Владимир, 2014. — 147 с.
11. Киреева Н.А., Новоселова Е.И., Онегова Т.С. Активность каталазы и де-гидрогеназы в почвах, загрязненных нефтью и нефтепродуктами // Агрехимия. — 2002. — № 8. — С. 64—72.
12. Корнеева Г.А., Ведерников В.И. Гидролитическая ферментативная активность и некоторые гидробиологические характеристики аэробной зоны Черного моря // Изв. РАН. Сер. Биология. — 1994. — № 2. — С. 290—299.
13. Косолапов Д.Б., Намсараев Б.Б. Микробный метаболизм органического углерода в донных отложениях Рыбинского водохранилища // Гидробиол. журн. — 2000. — Т. 36, № 3. — С. 44—50.
14. Ларіонова Д.П., Давигов О.А. Трофо-сапробіологічний статус водних об'єктів придаткової мережі річкової частини Канівського водосховища за біомасою мікрофітобентосу // Наук. зап. Терноп. пед. ун-ту. Сер. Біологія. — 2015. — Т. 64, № 3—4. — С. 392—395.
15. Ларіонова Д.П., Давигов О.А. Мікрофітобентос лотичної системи мегаполісу на ділянках з різним ступенем антропогенного навантаження // Водні екосистеми та збереження їх біорізноманіття: Зб. наук. праць I Всеукр. наук.-практ. конф., 11—12 квіт. 2018 р. — Житомир, 2018. — С. 55—57.
16. Максимова Э.А., Максимов В.Н., Колесницкая Г.Н. и др. Микробиологическая индикация и оценка состояния донных отложений Южного Байкала // Микробиология. — 1995. — Т. 64, № 3. — С. 399—404.
17. Мухаматдинова А.Р. Оценка состояния и совершенствование системы мониторинга водных объектов в зоне влияния нефтехимических предприятий: Рукопись дис. ... канд. биол. наук. — Уфа, 2015. — 170 с.
18. Новоселова Е.И. Экологические аспекты трансформации ферментного пула почвы при нефтяном загрязнении и рекультивации: Автореф. дис. ... канд. биол. наук. — Воронеж, 2008. — 41 с.
19. Олейник Г.Н., Белоконь В.Н., Кабакова Т.Н. Бактериобентос и содержание тяжелых металлов в донных отложениях Сасыкского водохранилища // Гидробиол. журн. — 1996. — Т. 32, № 6. — С. 21—31.
20. Петерсон Н.В., Курьяк Е.К., Франчук Е.К. Определение активности каталазы почв // Микробиол. журн. — 1984. — Т. 46, № 2. — С. 85—87.
21. Рибка Т.С., Волюков Ю.М. Оцінка еколого-санітарного стану водойм урбанізованих територій за показниками зоопланктону та макрозообенто-

- су // Наук. зап. Терноп. пед. ун-ту. Сер. Біологія. — 2014. — Т. 59, № 2. — С. 52—56.
22. Романенко В.Д. Гідроекологічні проблеми в умовах урбанізації // Там же. — 2015. — Т. 64, № 3—4. — С. 18—21.
 23. Романенко О.В. Арсан О.М., Кіпніс Л.С. та ін. Екологічні проблеми Київських водойм і прилеглих територій. — К.: Наук. думка, 2015. — 192 с.
 24. Скворцова, И.Н. Строганова М.Н., Агаркова М.Г. Изменение состава микробных сообществ как один из показателей при экологическом мониторинге // Экологические проблемы охраны живой природы: Всесоюз. конф. — М.: Изд-во Моск. ун-та, 1990. — 84 с.
 25. Скурлатов Ю.И., Травин С.О., Эрнестова Л.С. Окислительно-восстановительные процессы в природных водах // Вод. ресурсы. — 1987. — № 5. — С. 66—72.
 26. Тимофеева С.С., Беспалова В.З., Черемных Н.В. Использование окислительно-восстановительных ферментов в биоиндикации загрязнений // Водная токсикология: Тез. докл. 5-й Всесоюз. конф., 18—22 апр. 1988 г. — М., 1988. — С. 76—77.
 27. Цокур Н.И., Степанюк Н.А. Биологическая активность илов акватории Одесского залива в различные сезоны года // Гидробиол. журн. — 1989. — Т. 25, № 1. — С. 49—53.
 28. Feriance P., Toth D. Microbial numbers, biomass and microbial activity in sediments of 2 hydromelioration channels in the Eastern Slovakia Lowlands // Biologia. — 1993. — N 48. — P. 319.
 29. Lehman R.M., O'Connell S.P. Comparison of extracellular enzyme activities and community composition of attached and free-living bacteria in porous medium columns // App. Environ. Microbiol. — 2002. — Vol. 68, N 4. — P. 1569—1575.
 30. Mudryk Z., Donderski W. The proteolytic activity of benthic bacteria in three estuarine lakes // Oceanologia (PAS). — 1992. — Vol. 32. — P. 109—119.
 31. Olejnik G., Świątecki A., Górniak D., Kacprzycka-Nowicka M. Struktura i funkcja bakteriobentosu w jeziorach o różnej trofii // Skupskie prace pizyrodnicze. — 2001. — N 1. — S. 141—152.
 32. Olejnik G.N., Starosila Ye.V. Structure and functioning of bacterioplankton and bacteriobenthos in the water bodies with high content of inorganic nitrogen // Hydrobiol. J. — 2010. — Vol. 46, N 6. — P. 26—36.
 33. Olejnik G.N., Yurishinets V.I., Starosila Ye.V. Bacterioplankton and bacteriobenthos as biological indicators of aquatic ecosystem state // Ibid. — 2011. — Vol. 47, N 2. — P. 37—48.
 34. Sinsabough R.L., Findley S., Franchini P. et al. Enzymatic analysis of riverine bacterioplankton productoin // Limnol. Oceanogr. — 1997. — Vol. 42. — P. 29—38.
 35. Starosila Ye.V. Destruction of organic matter and catalase activity in bottom sediments of ponds extremely loaded with allochthonous nitrogen // Hydrobiol. J. — 2008. — Vol. 44, N 6. — P. 64—73.
 36. Starosila Ye.V., Olejnik G.N. Catalase activity in pond bottom sediments contaminated by mineral nitrogen // Ibid. — 2006. — Vol. 42, N 1. — P. 47—56.