

ГИДРОЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА БИОПРУДОВ ОЧИСТНЫХ СООРУЖЕНИЙ г. КРЕМЕНЧУГА

Кременчугский государственный политехнический университет им. М. Остроградского

Изучена сезонная динамика гидрохимического (2002–2007 гг.) та гидробиологического (2006–2007 гг.) состава ставков очистных сооружений г. Кременчуга (Полтавская обл.). Полученные результаты свидетельствуют о вторичном загрязнении воды растворимым органическим веществом. Предлагаются мероприятия, направленные на восстановление нарушенных функций биологических ставков.

Ключевые слова: гидрополлютанты, планктон, сапробность, биоставок, самоочищение.

В. В. Никифоров

Кременчуцький державний політехнічний університет ім. М. Остроградського

ГІДРОЕКОЛОГІЧНА ХАРАКТЕРИСТИКА БІОСТАВКІВ ОЧИСТНИХ СПОРУД м. КРЕМЕНЧУКА

Вивчено сезонну динаміку гідрохімічного (2002–2007 рр.) і гідробіологічного (2006–2007 рр.) складу ставків очисних споруд м. Кременчука (Полтавська обл.). Отримані результати свідчать про вторинне забруднення води розчиненою органічною речовиною. Пропонуються заходи, спрямовані на відновлення порушених функцій біологічних ставків.

Ключові слова: гідрополіутанти, планктон, сапробність, біоставок, самоочищення.

V. V. Nykyforov

Kremenchuk Mykhaylo Ostrogradskiy State Polytechnic University

RESULTS OF HYDROECOLOGICAL RESEARCH OF KREMENCHUK TOWN CLEARING CONSTRUCTIONS BIOPONDS

Seasonal dynamics of hydrochemical (2002–07) and hydrobiological (2006–07) composition of Kremenchuk (Poltava region) treatment facilities was investigated. Received results proved the secondary water pollution by soluble organic substance. Methods aimed on the restoration of defective functions of biological basins are offered.

Keywords: hydropollutants, plankton, saprobiciness, bioponds, selfpurification.

Коммунальное хозяйство является третьим после промышленности и сельского хозяйства основным потребителем воды. Особенность этой отрасли – устойчивость водопотребления на протяжении последних 10–15 лет. В соответствии с данными для Полтавской области (Экологія Полтавщини, 2006) в 2005 г. сброшено в поверхностные водные объекты нормативно очищенных, без очистки, недостаточно очищенных и нормативно чистых вод – 64,84, 0,024, 6,37 и 93,56 млн м³ соответственно, что в 12 раз превышает объем Кременчугского водохранилища – крупнейшего в Европе.

По данным Госжилкоммунхоза, свыше 3 тыс. км канализационной сети находится в аварийном состоянии, отсутствуют системы аварийных спусков нечистот. Ежедневно коммунальные канализации сбрасывают в реки 350 тыс. км³ неочищенных и 4,5 млн м³ недоочищенных стоков. В результате только за 5 месяцев 1995 г. около 100 тыс. человек пострадали от кишечных инфекций – холеры, дизентерии, гепатита А (Концептуальні основи ..., 1996).

С санитарно-биологической точки зрения и с учетом сапробности вода, поступающая после первичной очистки коммунальных канализационных стоков на доочистку в биопруды, относится к различным классам сапробности (от β-мезосапробной до β-полисапробной). Отсюда возникает необходимость обеспечить не только основную функцию биопрудов – снижение минерально-органического загрязнения, но и ограничить накопление в них органических веществ автохтонного происхождения в результате вторичного загрязнения.

Как любая экосистема, природный, природно-антропогенный или антропогенный гидробиоценоз (ГБЦ) характеризуется специфической структурно-функциональной организацией, сформировавшейся в конкретных пространственно-временных условиях. Основным свойством стабильности ГБЦ является равновесное состояние (климакс), предполагающее динамический баланс (гомеостазис) между продукцией и деструкцией органического вещества, который обеспечивается за счёт сложнейших консорционных (трофических и топических) механизмов взаимодействия между автотрофными и гетеротрофными гидробионтами.

Поступление в водную экосистему дополнительных количеств биогенных элементов (N , P , K), а также других трофических предшественников неизбежно приводит к немедленной реакции ГБЦ в виде увеличения численности и биомассы первичных продуцентов органического вещества (вплоть до «цветения» воды) – представителей сложного многовидового альгобактериального комплекса. Автоматически происходит «всплеск» развития гетеротрофных гидробионтов (простейших, нематод, низших ракообразных и др.), питающихся бактериями и микроводорослями. Затем трофическая «волна», как правило, демпфируется благодаря процессу минерализации избытка органики в результате жизнедеятельности организмов-деструкторов (редуцентов).

Такой многоступенчатый комплекс консорционных процессов называется «самоочищением» воды и является главным критерием реактивности и резистентности ГБЦ различного происхождения и хозяйственного назначения. Поэтому управление развитием гидроконсорций должно быть постоянно в центре внимания работников водоснабжения. Овладеть умением контролировать (интенсифицировать или ингибировать) процессы самоочищения в теории означает на практике получить качественную с санитарно-биологической точки зрения воду на любой стадии её очистки (при входе в систему водоснабжения, после выхода из канализационной системы или при сбросе её в природные водоёмы после очистки).

Биогенные элементы и органические соединения представляют собой основные компоненты гидрохимического состава воды биопрудов, обуславливающие интенсивность развития (численность и биомассу) гидробионтов, уровень её эвтрофирования и загрязнения. Снижение концентрации биогенных элементов в водной среде обеспечивается разнообразными механизмами, среди которых ведущее место принадлежит утилизации их гидробионтами, главным образом представителями альгобактериального комплекса, в процессе самоочищения воды. Большинство альгофитов для своего развития используют как неорганические формы фосфора и азота, так и органические вещества, содержащие эти элементы.

В настоящей работе представлены результаты исследований структурно-функциональной организации ГБЦ прудов очистных сооружений г. Кременчуга (Полтавская область) в зимний (часть 1) и летний (часть 2) периоды 2006–2007 гг. Гидроэкологические исследования включают в себя данные гидрохимического (2002–2007 гг.) и гидробиологического (зима 2006–2007 гг.) анализа воды биопрудов.

Целью наших исследований является восстановление очищающей способности биопрудов Кременчугских левобережных канализационных очистных сооружений (КОС) в частности и возобновление нарушенной структурно-функциональной организации гидробиоценоза вообще. Для достижения этой цели определены следующие задачи:

- изучение сезонной и годичной динамики гидрохимического и гидробиологического состава биопрудов;
- выявление причин нарушения функций биологической доочистки прудов;
- разработка эффективных мероприятий, направленных на восстановление нарушенных функций.

ОБЪЕКТ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Объектом наших исследований является структурно-функциональная организация экосистемы биологических прудов очистных сооружений г. Кременчуга. К числу унифицированных методов гидрохимического анализа (Унифицированные методы ..., 1973), использованных в настоящей работе, относятся:

- фотоколориметрическое определение аммония с реактивом Несслера;
- фотоколориметрическое определение нитритов с сульфаниловой кислотой и α -нафтиламином, а также нитратов с салицилатом натрия;
- весовое определение общего фосфора посредством минерализации в присутствии оксида магния с последующим осаждением в виде фосформолибдата.

В настоящей работе впервые предлагается использование нового коэффициента относительной утилизации азота (K_N) водными микроорганизмами, расчет которого проводится по формуле

$$K_N = 0,78 a / (0,30 b + 0,23 c),$$

где a, b, c – концентрация NH_4^+ , NO_2^- и NO_3^- соответственно, а 0,78, 0,30, 0,23 – массовая доля азота в этих ионах.

Данный коэффициент отражает массовое соотношение азота в аммонийной, нитритной и нитратной формах. Значения $K_N > 1$ свидетельствуют о низком уровне нитрификации аммиака в исследуемых водоемах. Величины $K_N < 1$ указывают на низкую активность процессов аммонификации белка в воде, что может быть косвенно обусловлено избытком растворимых органических веществ (РОВ) (например, в результате вторичного органического загрязнения), малой численностью (биомассой) гнилостных или высокой активностью нитрифицирующих бактерий.

К числу унифицированных методов гидробиологического анализа, использованных в настоящей работе, относятся:

- качественные и количественные методы определения видов фито- и зоопланктона посредством микроскопирования (Топачевский, 1984; Определитель ..., 1977; Водоросли, 1989; Гидробиологические ..., 1985; Кожова, 1978);
- определение индекса сапробности (*Pantle, Buck*, 1955; Маргушин, 1974; Унифицированные ..., 1977).

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Важнейшим критерием оценки качества воды является ее химический состав. Поэтому изучение динамики (режима) качественного и количественного химического состава воды является первоочередной задачей при определении эффективности очистки в биопрудах (БП).

В период с 2002 по 2006 г. на базе гидрохимической лаборатории левобережных КОС г. Кременчуга был проведен посезонный количественный анализ воды после вторичного отстаивания (распределительные чаши (РЧ) № 1 или № 2, БП № 1 или № 4), после ее прохождения через первый (БП № 3) или второй (БП № 6) каскад и воды, поступающей в р. Псел (ВП или общий выход – ОВ) (рис. 1) по основным химическим показателям, характеризующим руководящую функцию прудов – степень биологической очистки, или окисляемости растворенных органических соединений (концентрация NH_4^+ , NO_2^- , NO_3^- , PO_4^{3-} , O_2 , взвесей, БПК₅ и рН). При этом матричные значения названных ингредиентов и показателей, использованные для построения диаграмм, представляют собой средние величины ежемесячных результатов гидрохимического анализа).

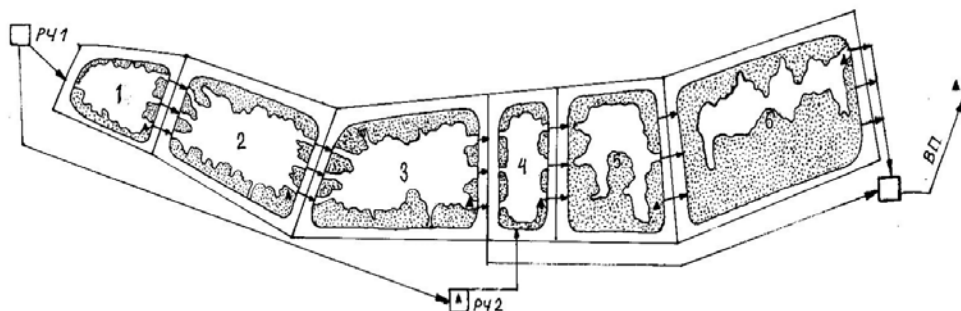


Рис. 1. Карта-схема расположения и зарастания биопрудов кременчугских КОС

Детальный анализ результатов комплексных гидрохимических исследований за последние пять лет, основной целью которых является выявление функциональной эффективности биопрудов (снижение концентрации основных минеральных и органических гидрополлютантов и других показателей), позволил получить следующие данные.

1. Максимальные значения концентрации аммония после вторичного отстаивания были зарегистрированы на протяжении 2003 г. (6,56 мг/дм³ весной) и зимой 2004–2005 гг. (5,72 мг/дм³), а минимальные – в 2005 г. (0,633 мг/дм³ осенью). После биологических прудов концентрация аммонийного азота почти не изменялась (в среднем снижалась в 1,05 раза), поскольку средние значения $C(NH_4^+)$ за весь период исследований воды после вторичного отстаивания и прохождения через каскад биопрудов составили 3,49 и 3,33 мг/дм³ соответственно.

2. Максимальные значения концентрации нитритов наблюдались летом 2003 г. (2,94 мг/дм³) и зимой 2003–2004 гг. (3,09 мг/дм³), минимальное – на протяжении 2005 г. (0,51 мг/дм³ зимой), а среднее – 1,24 мг/дм³. Изменения концентрации нитритов после биоочистки в целом соответствовали таковым значениям во вторичном отстойнике. Средняя величина за весь период исследования $C(NO_2^-)$ после биопрудов составила 1,46 мг/дм³, что свидетельствует о ее увеличении в 1,18 раза и указывает на вторичное органическое загрязнение.

3. Максимальные величины $C(NO_3^-)$ после вторичного отстаивания зарегистрированы на протяжении 2005 г. (39,31 – 51,59 мг/дм³), а максимальные – весной (18,64 мг/дм³) и летом (15,93 мг/дм³) 2003 г. Динамика содержания нитритов в воде до и после биологической доочистки незначительна: выявлено уменьшение концентрации в 1,02 раза в среднем за период наблюдений.

4. Зарегистрированные усредненные значения предлагаемого коэффициента относительной утилизации азота водными микроорганизмами, отражающего направленность биохимических процессов обмена органического и минерального азота, за весь период исследований химического состава воды до (0,39) и после (0,37) биологической очистки, указывают на преобладание процессов нитрификации над процессами аммонификации, что обусловлено избытком РОВ в результате вторичного загрязнения. Причем названное преобладание усиливается в биопрудах второго каскада.

5. Особых изменений водородного показателя воды за время исследований не выявлено. Средние значения pH до и после ее прохождения через биопруды составили 7,42 и 7,51 соответственно (увеличение в 1,01 раза). Однако снижение pH, на наш взгляд, должно ускорить процессы окисления растворенных в воде органических соединений.

6. За весь период исследований выявлено увеличение содержания растворенного в воде кислорода в среднем в 1,21 раза после ее прохождения через каскад биопрудов, что, несомненно, обусловлено фотосинтетической деятельностью фитопланктона. Максимальные значения концентрации взвешенных веществ после вторичного отстаивания сточных вод были зарегистрированы осенью 2003 г. (13,02 мг/дм³), минимальные – весной и летом 2002 г. (7,45–7,61 мг/дм³), среднее значение составило 10,54 мг/дм³. Существенное снижение содержания взвешенных веществ (в 2,19 раза) свидетельствует о том, что биопруды справляются с одной из своих функций – отстаиванием остаточных взвесей (например, активного ила).

7. Максимальные значения концентрации фосфатов после биоочистки зарегистрированы весной 2003 г., летом и осенью 2006 г. – 7,16, 6,90 и 6,84 мг/дм³ соответственно, однако биопруды не справляются с функцией утилизации этого биогена, поскольку его содержание увеличивается в среднем за все время наблюдений в 1,12 раза, что свидетельствует о вторичном загрязнении органическими веществами.

8. Средние значения содержания изучаемых соединений и показателей качества сточных вод левобережных КОС г. Кременчуга в период гидрохимических исследований (зима 2006/2007 гг.) после вторичного отстаивания, первого и второго каскадов биопрудов соответственно составили:

• $C(NH_4^+)$ – 0,76; 4,66 и 4,37 мг/дм³; • $C(NO_2^-)$ – 0,32; 1,97 и 1,88 мг/дм³; • $C(NO_3^-)$ – 51,00; 48,55 и 49,71 мг/дм³; • $C(PO_4^{3-})$ – 5,71; 7,21 и 6,23 мг/дм³; • $C(\text{взвеси})$ – 13,30; 7,45 и 5,20 мг/дм³; • $C(O_2)$ – 8,40; 8,68 и 10,16 мг/дм³; • pH – 8,25; 8,09 и 8,28 (табл. 1, рис. 2).

Таблица 1

Гидрохимическая характеристика сточных вод (мг/дм³) после вторичного отстаивания (а) и биологической очистки в первом (б) и втором (в) каскаде прудов

	■ – PO ₄ ³⁻	■ – взвеси	■ – O ₂	■ – NH ₄ ⁺	■ – NO ₂ ⁻	■ – NO ₃ ⁻
а	5,71	13,3	8,4	0,76	0,32	51
б	7,21	7,45	8,68	4,66	1,97	48,55
в	6,23	5,2	10,16	4,37	1,88	49,71

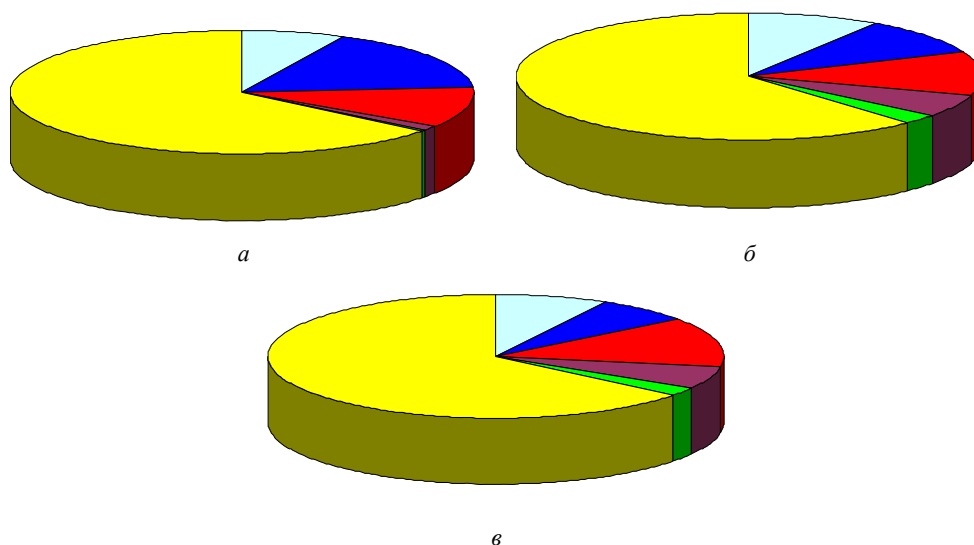


Рис. 2. Гидрохимическая характеристика сточных вод (мг/дм³) после вторичного отстаивания (а) и биологической очистки в первом (б) и втором (в) каскаде прудов

Детальный анализ результатов комплексных гидробиологических исследований за зимний период 2006/07 гг., основной целью которых является выявление функциональной способности биопрудов (снижение концентрации основных минеральных и органических гидрополлютантов и других показателей), позволил прийти к следующим выводам.

1. Выявлена прямая пропорциональная зависимость между сравниваемыми показателями для альгобионтов исследованных водоемов. Максимальная численность и биомасса фитопланктона зафиксирована в пробах воды из РЧ № 1 и на ОВ. Основной вклад в фитомассу воды на выпуске принадлежит БП № 3 и № 6. Аналогичная зависимость прослеживается в пробах зоопланктона, однако его массовое развитие наблюдается в БП № 6. Величина индекса сапробности в целом постепенно снижается с 2,7 (РЧ) до 2,4 (ОВ).

2. Выявлена корреляция между численностью клеток и биомассой планктона в зимний период 2006/07 гг. в целом. Наблюдается увеличение массы планктона от РЧ к ОВ, что косвенно подтверждает наличие вторичного загрязнения воды органическими соединениями. Основной вклад в биомассу планктона на выходе очищенных стоков в р. Псел принадлежит БП № 3, № 4 и № 6. Взаимосвязь между численностью или биомассой и индексом сапробности для каждого БП отсутствует, поскольку ее значения определяются видовым составом сапробионтов. Тем не менее, зарегистрировано снижение сапробности воды ОВ по сравнению с РЧ № 1 (после вторичного отстаивания) в 1,4 раза. Неожиданно высоким оказалось значение сапробности воды в БП № 2 на фоне низкой численности и биомассы, что можно объяснить наличием в

ней планктонных видов-индикаторов, обладающих высокими значениями индекса сапробности (рис. 3, 4).

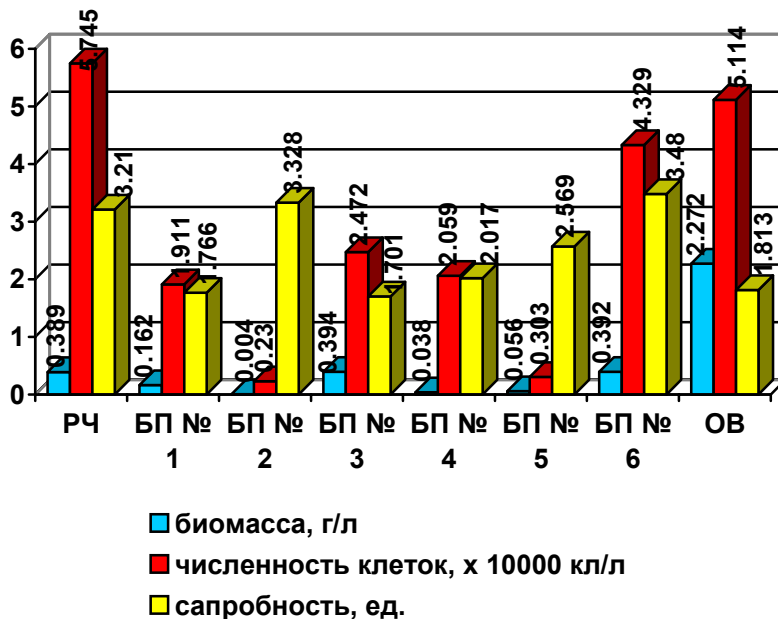


Рис. 3. Показатели сапробности воды, численности и биомассы фитопланктона

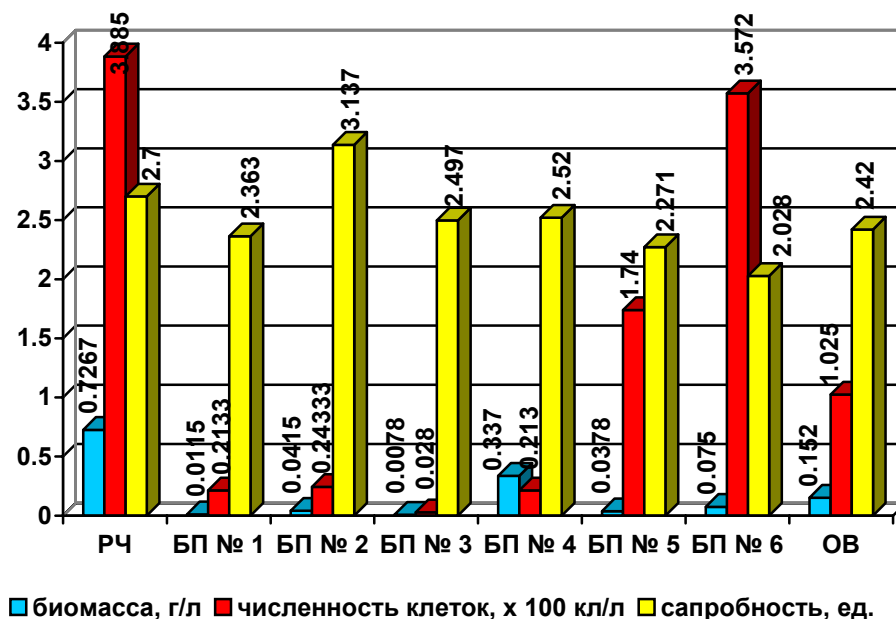


Рис. 4. Показатели сапробности воды, численности и биомассы зоопланктона

3. В соответствии с полученными результатами гидробиологического анализа по общему планктону исследованные водоемы распределяются по классам сапробности следующим образом: БП № 2 – α -полисапробная, РЧ и БП № 6 – β -полисапробная, БП № 4, 5 – β - α -мезосапробная, БП № 1, 3 и ОВ – β -мезосапробная вода. При

этом чем выше сапробность воды, тем активнее протекают процессы минерализации в ней. Следовательно, разложение органических веществ интенсивно начинается уже в РЧ и, по мере прохождения воды через каскад БП, постепенно снижается на выпуске ее в р. Псел.

4. Результаты сопоставления данных гидрохимического и гидробиологического анализов свидетельствуют о выраженной корреляции между значениями сапробности и содержанием в воде обследованных водоемов биогенных элементов (азота и фосфора). Высокая концентрация азотистых соединений (аммоний, нитриты и нитраты) лишний раз доказывает наличие процессов вторичного органического загрязнения в биопрудах КОС (рис. 5).

5. В определенной зависимости попарно между собой находятся показатели химического потребления кислорода, кислотность и сапробность воды изученных водоемов.

Максимальное значение ХПК зарегистрировано зимой в БП № 3 (128 мг $O_2/дм^3$) на фоне средней величины этого показателя в остальных БП в пределах 66,7 мг $O_2/дм^3$. Слабощелочная реакция воды (pH) в зимний период оставалась стабильной, сапробность варьировала от 2,1 (БП № 3) до 3,2 (БП № 2).

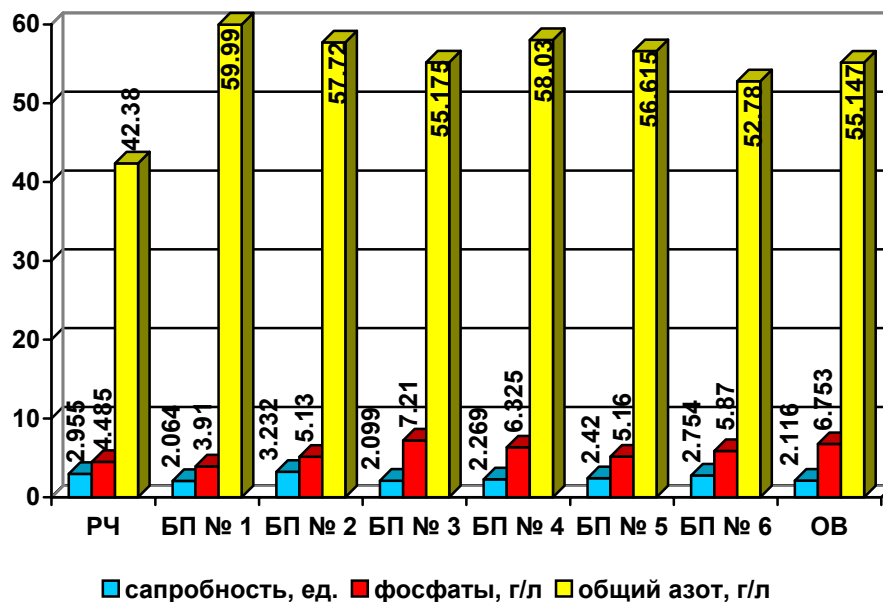


Рис. 5. Показатели сапробности и концентрации биогенных элементов

6. Выявлено выраженное увеличение площадей водного зеркала, покрытого гелиофитами от первого биопруда к последнему (рис. 1). При этом степень зарастания, главным образом рогозom узколистым, составила 34,5 %, 39,3 %, 43,8 %, 50,0 %, 61,3 % и 77,6 % соответственно. На наш взгляд, недопустимое зарастание биопрудов второго каскада (в хвостовом, шестом пруде площадь открытого зеркала воды не превышает четверти) резко снижает их функциональную способность очищать сточные воды, а также является основной причиной вторичного органического загрязнения, о чем свидетельствует повышенное содержание нитритов и фосфатов в воде и требует неотлагательного вмешательства.

ВЫВОДЫ И РЕКОМЕНДАЦИИ

Согласно основным свойствам, промышленно-бытовые оборотные воды выпуска № 2 (общий выход) городских КОС соответствуют следующим установленным нормам:

- плавающие примеси отсутствуют;
- вода не имеет посторонних окраски, запахов и привкусов мяса рыбы;
- температура не превышает таковую природной воды на 5 °С;
- реакция воды (рН) находится в пределах 6,5–8,5;
- содержание растворенного кислорода в зимний период более 4 мг/дм³.

В ходе исследований выявлено почти полное соответствие качества воды на выпуске левобережных КОС г. Кременчуга установленным нормативам по следующим ингредиентам и показателям:

- концентрация взвешенных веществ в 3 раза ниже нормы;
- БПК₅ ниже нормы в 4,3 раза;
- содержание нитратов в 1,4 раза ниже нормы;
- содержание фосфатов в 1,6 раза ниже нормы;
- превышение нормы установлено для аммония и нитритов – в 1,3 и 3,2 раза соответственно.

Детальный анализ результатов гидроэкологических исследований прудов левобережных канализационных очистных сооружений г. Кременчуга позволил выявить причины вторичного органического загрязнения воды и разработать ряд радикальных и перспективных мероприятий, направленных на восстановление нарушенных функций второго каскада биопрудов.

К радикальным (первоочередным) мероприятиям относятся:

- остановка и вывод из эксплуатации биопрудов второго каскада № 4 – № 6); ликвидация основного источника вторичного загрязнения воды органическими веществами – избыточной фитомассы высших водных растений (макрофитов), главным образом рогоза узколистного в биопрудах второго каскада, особенно в БП № 6 (рис. 1).

- переход от двух каскадов из трех прудов к трем каскадам из двух прудов, что позволит службе эксплуатации существенно повысить эффективность ежегодных профилактических работ по удалению накопленных осадков и излишней фитомассы макрофитов без перегрузки функционирующих в этот период биопрудов;

- удаление верхнего (жидкого) слоя илистых отложений на открытых участках с помощью иловых насосов, ассенизационных машин или ковшевых погрузчиков после спуска воды. Твердый остаточный ил, содержащий корневища рогоза, следует удалять с помощью скрепера. Толщина слоя ила, в котором произрастает рогоз, достигает 15–25 см. Ил удаляют по мере его накопления в мае-июне (если он хорошо перегнил) или в августе (если процессы брожения не закончились) и складывают на иловых площадках с последующим использованием в качестве эффективного минерало-органического удобрения;

К перспективным (второстепенным) мероприятиям относятся:

- увеличение времени пребывания стоков в биопрудах (до 10–15 суток) путем снижения их пропускной способности (уменьшения скорости течения) или увеличение площади зеркала воды посредством сооружения и введения в эксплуатацию новой очереди из двух каскадов биопрудов, что позволит в аварийных ситуациях деамфировать негативное влияние на экосистему р. Псел, а также оптимизировать уход за БП (удаление излишков ила и высших водных растений) и даст возможность регулировать интенсивность биоочистки в зависимости от сезонной нагрузки стоков на них;

- организация исследований, ориентированных на поиск и апробацию оптимальных способов асепции воды после вторичного отстаивания (на этапе биологической доочистки) с использованием традиционных хлорсодержащих реагентов в соответствии с проектными схемами;

- проведение натурного эксперимента на участке одного из биопрудов по апробации нового способа биологической доочистки сточных вод (Никифоров, 2004) посредством иммобилизации на полимерном субстрате гидробионтов всех трофических уровней (продуцентов, консументов и редуцентов) с одновременной его биоутилизацией с целью последующего сооружения биореакторов. Способ позволяет за 25 суток полностью избавиться от аммонийного азота и фосфатов, снизить значение БПК₅ почти в два раза, а концентрацию сульфатов, хлоридов и железа – на 42, 25 и 31 % соответственно, а также уменьшить на треть общую минерализацию воды;

- организация камеральных исследований влияния кислотности воды на скорость и объемы процессов окисления РОВ (корреляция между pH и БПК₅) с целью выявления оптимальных значений pH , при которых окисляемость РОВ является максимальной.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

- Водоросли:** Справочник / Под ред. С. П. Вассера и др. – К. : Наук. думка, 1989. – 608 с.
- Гидробиологические исследования** пресных вод. – К. : Наук. думка, 1985. – 160 с.
- Екологія Полтавщини** / За ред. Ю. С. Голика, О. Е. Ілляш. – Полтава : Полтавський літератор, 2006. – С. 35.
- Кожова О. М.** Инструкция по обработке проб планктона счетным методом / О. М. Кожова, Н. Г. Мельник. – Иркутск : Изд-во ИГУ, 1978. – 52 с.
- Концептуальні основи** сталого розвитку водогосподарського комплексу України. – К. : РВПС НАН України, 1996. – 53 с.
- Маргушин А. В.** Библиографический указатель по теме: Биологический анализ качества воды с приложением списка организмов-индикаторов загрязнения. – Л. : ЗИН АН СССР, 1974. – 53 с.
- Никифоров В. В.** Спосіб біологічного доочищення стічних вод. Деклараційний патент на винахід. UA 63719A 15.01.2004. Бюл. №1, 2004.
- Определитель** пресноводных беспозвоночных европейской части СССР (планктон и бентос) / Под ред. Л. А. Кутиковой и Я. И. Скоробогатова. – Л. : Гидрометеоздат, 1977. – 512 с.
- Топачевский А. В.** Пресноводные водоросли Украинской СССР / А. В. Топачевский, Н. П. Масюк. – К. : Вища шк., 1984. – 336 с.
- Унифицированные методы** анализа вод / Под ред. Ю. Ю. Лурье. – М. : Химия, 1973. – С. 108-253.
- Унифицированные методы** исследования качества воды. Методы биологического анализа вод. Индикаторы сапробности. – М. : СЭВ, 1977. – С. 1-91.

Надійшла до редколегії 25.09.07