

241981

ТАРТУСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

Э.И. Птицина

ОПТИМАЛЬНЫЙ РЕЖИМ РАБОТЫ ПРОТОЧНЫХ БИОЛОГИЧЕСКИХ  
ПРУДОВ ДЛЯ ОБЕЗВРЕЖИВАНИЯ ГОРОДСКИХ СТОЧНЫХ ВОД  
В РАЗНЫХ УСЛОВИЯХ

А в т о р е ф е р а т  
диссертации на соискание ученой степени  
кандидата биологических наук

Diss. Tart. 389367

Тарту 1968



ТАРТУСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

Э.И. Птицина

ОПТИМАЛЬНЫЙ РЕЖИМ РАБОТЫ ПРОТОЧНЫХ БИОЛОГИЧЕСКИХ  
ПРУДОВ ДЛЯ ОБЕЗВРЕЖИВАНИЯ ГОРОДСКИХ СТОЧНЫХ ВОД  
В РАЗНЫХ УСЛОВИЯХ

А в т о р е ф е р а т  
диссертации на соискание ученой степени  
кандидата биологических наук

Тарту 1968

Работа выполнена в лаборатории орошения Украинского научно-исследовательского института овощеводства и картофеля.

Официальные оппоненты:

доктор биологических наук Фрей Т.Э.-А.

кандидат биологических наук Кукк Э.Г.

Вадущее учреждение: кафедра гидромелиорации Эстонской сельскохозяйственной академии.

Автореферат разослан "19" июля 1968 г.

Защита диссертации состоится "20" декабря 1968 г. на заседании совета биолого-географического факультета Тартуского государственного университета, г.Тарту, главное здание университета.

С диссертацией можно ознакомиться в Научной библиотеке ТГУ.

Ученый секретарь совета

*M. Maarooz*

(И.МААРООЗ)

D  
Tartu Riikliku Ülikooli  
Raamatukogu

449309

При охране поверхностных вод от загрязнения предусматривается развитие мероприятий по очистке и использованию сточных вод.

За последние десятилетия значительно возрос интерес исследователей к использованию биологических прудов в качестве экономичных и эффективных очистных сооружений.

До настоящего времени пруды не получали широкого распространения в Советском Союзе. В первую очередь это связано с отсутствием единых технических параметров по их проектированию, разработанных применительно к конкретным климатическим условиям.

Имеющиеся Строительные нормы и правила / СНиП Г-П-62/ для биологических прудов составлены на эмпирической основе и нуждаются в корректировке по данным практики.

Применение прудов ограничено и в связи с тем, что в Советском Союзе преимущественно изучались односекционные непроточные пруды / Минские поля фильтрации, Львовские, Либерецкие, Одесские поля орошения/, которые являются сезонными очистными сооружениями и не могут эксплуатироваться зимой.

За последние годы в зарубежной литературе появились данные, свидетельствующие о высокой производительности и эффективности проточных последовательно-соединенных прудов, которые могут успешно эксплуатироваться в тече-

ные круглого года даже в районах с суровыми зимними условиями / Close, 1961; Towne et al, 1957; A. J. Bartzch, 1957; К Взинк, 1961/

В СССР проточные пруды изучались С.Н. Строгановым, 1914, 1919.

Мы не имеем достаточно данных о круглогодичном использовании проточных биологических прудов.

Реферлируемая работа посвящена выявлению оптимальных условий работы проточных биологических прудов, обеспечивающих эффективную очистку бытовых сточных вод в районах третьей климатической зоны в течение круглого года и разработке рекомендаций по их проектированию и эксплуатации.

Исследования проводились на Ларинских очистных сооружениях г. Донецка.

Работа выполнялась в лаборатории орошения Украинского НИИ овощеводства и картофеля / г. Харьков/

Основой для диссертации послужили экспериментальные исследования, проводимые автором в составе экспедиций института 1961-65 гг, а также данные лабораторных гидрохимических, гидробиологических, гельминтологических, бактериологических исследований.

Работа изложена на 225 страницах машинописного текста, состоит из введения, 4 разделов обзора литературы и 14 разделов собственных исследований, выводов и рекомендаций производству. Список литературы, включает 106 отечественных и 59 иностранных авторов. Диссертация иллюстрирована

11 фотографиями, 21 графиком, 41 таблицей, 12 рисунками и 3 схемами.

Обзор литературы Включает главы, составленные по данным литературного материала, освещающего краткую историю применения биологических прудов и современное состояние очистки и обезвреживания в них стоков.

Этим вопросам посвящены работы зарубежных специалистов *M. Kenneth* 1961, *W. Towne* 1957, *R. Mayklbost* 1962, *D. Perce* 1960, *K. Vziuk* 1961, *U. Meyer* 1950, *W. Heuweller* 1960, *C. Parkes* 1950, 1955, 1962, *W. Oswald* 1953, 1955, 1957 *D. Ulmann* 1958-1960, *O. Malchow-Müller* 1955 *M. Wennström* 1955 и отечественных - *С.Н. Строганова* 1914, 1919, *Г.Г. Винберга* и *П.В. Остапени*, 1961, *Т.Н. Сивко* 1957, 1959, 1960, 1964, 1965, *А.К. Кокиной* 1961,

Описание механизма самоочистения загрязненных вод приводится по данным *Н.А. Березиной* 1963, *Т.С. Ремизова* 1939, *М.А. Салменова* 1964, *В.И. Жадина* 1960, *А.Г. Родиной* 1958, где за основу принята схема: бактериопланктон-фитопланктон-зоопланктон.

Процесс фотосинтетического окисления широко освещен в трудах *Г.Г. Винберга*, *Т.Н. Сивко* 1960, 1957, 1959,

Для оценки очистного эффекта прудов в обзоре литературы приводятся данные *Н.А. Базякиной* 1919, *А.С. Разумова* 1948, *В.А. Гефтер* 1965, *З.Г. Васильковой* 1959.

Описанию факторов, характеризующих эффективность очистки в прудах посвящены работы *J. Andereg* 1960, 1961, *Heizman*

Глоуна 1955, 1957, M Kenneth 1961, R Butler 1954, W Os  
wald 1953, 1955

Основное значение при эксплуатации прудов имеют величины нагрузок, рассчитанные для всех сезонов и обеспечивающие хорошее качество очистки. Из литературных данных очевидно оказывается преимущество проточных прудов.

Программа проводимых исследований включала изучение эффективности очистки стоков в проточных прудах в зависимости от разных величин нагрузок, задаваемых на разные варианты прудов - каскады, спаренные пруды, односекционный непроточный пруд.

Одновременно изучалось влияние времени пребывания стоков в прудах, их площади, количества в каскаде, наличие переливных устройств, развития гидробионтов на качество очистки. Также выявлялась возможность обезвреживания сточной воды в прудах от бактериального и гельминтологического загрязнений.

Ларинские очистные сооружения включают механическую очистку, поля фильтрации, поля орошения, биологические пруды.

На сооружения поступают хозяйственно-бытовые стоки в количестве 75-80 тыс. м<sup>3</sup>/сутки. Из них 34% принадлежит стокам промышленных предприятий.

Биологические пруды представлены 5-ю каскадами, расположенными в балках и занимающими площадь 23,1 га.

Вода поступает в пруды самотеком по открытым каналам

длиной 3-3,5 км.

Поступление стоков из одного пруда в другой происходит по трубам, проложенным в дамбе каждого пруда. Переливные устройства представлены шахтными колодцами.

В зимнее время, для выявления эффективности работы проточных прудов, мы параллельно наблюдали пруд-накопитель, в котором сточная вода аккумулировалась в течение 120-150 суток.

Таблица 1

Гидрологическая характеристика биологических прудов  
Ларинских очистных сооружений.

Данные о прудах	Каскад 1	Каскад 2	Каскад 3	Спарен ные пруды	Одно- сек- цион- ный	Пруд- нако- питель
Общая площадь в га	4,0	12,0	4,0	2,5	1,0	0,24
Количество прудов	9	12	12	2	1	1
Максимальная глубина в м а/летом б/зимой	1,7 -	1,8 2,7	1,8 2,8	0,4-0,5 -	0,4 -	- 3,0
Предваритель- ная очистка	механическая		сырые стоки		сырые мех.	
Водоприемник	р. Кислячья Балка "Обеточная" -					

Примечание : Прочерки в таблице показывают, что пруды каскада 1, спаренные и односекционный в зимнее время не эксплуатировались. Летом не наблюдался пруд-накопитель.

Климат Донецкой области характеризуется суховейными явлениями, малым количеством осадков, достигающих 400-430 мм в год. В вегетационный период наблюдается их дефицит.

Среднегодовая температура воздуха составляет  $+7,8^{\circ}\text{C}$ , с колебаниями от  $0,9$  до  $-28^{\circ}\text{C}$  зимой и в пределах  $+19-35^{\circ}\text{C}$  летом.

По своему химическому составу стоки, поступающие на сооружения имеют невысокую концентрацию: среднее значение БПК<sub>5</sub> составляет 112 мг/л с колебаниями от 58 мг/л до 200 мг/л. Отмечено значительное расхождение значений БПК<sub>5</sub> по сезонам: минимальное зимой и максимальное - летом.

Перманганатная окисляемость в среднем составляла 44,2 мг/л, максимальное значение ее в летние месяцы достигало 101 мг/л, содержание азота аммонийного составляло 30-40 мг/л с возрастанием в осенние месяцы до 80 мг/л. Степень минерализации на холдила в пределах 862-1000 мг/л.

Осветление стоков на сооружениях механической очистки происходит незначительно в силу перегрузки последних в 1,5-2,0 раза, в связи с чем данные химического состава сырых и механически очищенных сточных вод разнятся незначительно.

По данным гидробиологических исследований в сырых и механически очищенных стоках содержатся  $\beta$ -сапробные бесцветные жгутиковые, серные бактерии рода *Beggiatoa* и *Nematodes*. Коли титр находился в пределах  $10^{-5}-10^{-12}$ , количество колоний, выращиваемых на МПА исчислялось миллионами и десятками миллионов в 1 мл исследуемой воды.

В стоках постоянно обнаруживались яйца гельминтов, преимущественно аскарид.

В 240 литрах сырых стоков было обнаружено 1362 яйца, а в 240 литрах механических — 288 яиц гельминтов.

### Влияние разных нагрузок на качество очистки

Нами учитывались нагрузки по объему, выраженные в м<sup>3</sup>/га/сутки и по БПК<sub>5</sub> кгО<sub>2</sub>/га/сутки, т.к. обе величины влияют на качество очистки.

В период проведения исследований, мы изменяли нагрузки от 200 до 1500 м<sup>3</sup>/га/сутки.

Проведенные исследования показали, что величина нагрузок на пруды каскада 3 в зимний период составляет 300 м<sup>3</sup>/га/сутки, а в каскаде 2, имеющем большую площадь /12,0 га/ — 600 м<sup>3</sup>/га/сутки.

Срок очистки находился в пределах 7–15 суток и зависел от величины нагрузок по БПК<sub>5</sub>, которые очень лабильны. Возрастание этих нагрузок до 65 кгО<sub>2</sub>/га/сутки уже требовало задержания сточной воды в прудах каскада 3 до 15 суток.

В данных условиях снижение БПК<sub>5</sub> в прудах каскадов 2 и 3 происходило на 77,7%, азота аммонийного — на 74%, несмотря на неблагоприятные зимние условия.

Экспериментальное уменьшение нагрузки в каскаде 3 до 200 м<sup>3</sup>/га/сутки существенно не отражалось на качестве очистки.

В марте–апреле нагрузка на каскад 3 увеличивалась до 400 м<sup>3</sup>/га/сутки, с показателем БПК<sub>5</sub> 51,3 кгО<sub>2</sub>/га/сутки. Очистка происходила за 5,6 суток с снижением БПК<sub>5</sub> на 70%, азота аммонийного на 80,3%. Увеличение нагрузки в этот период до 500 м<sup>3</sup>/га/сутки и до 151,0 кгО<sub>2</sub>/га/сутки БПК<sub>5</sub> ухудшало очистку: БПК<sub>5</sub>

снижалось только на 55,9%.

Весной, с переходом среднесуточных температур воздуха через  $+13^{\circ}$  возникала необходимость в снижении нагрузок до зимних значений, чтобы максимально ограничить объем поступающей в пруды сточной воды. Это связано в том, что при повышении температуры воздуха начинаются интенсивные процессы сбраживания осадка, скопившегося за зиму и процессы минерализации органических загрязнений, содержащихся в вновь поступающих стоках, т.е. пруды испытывают двойную нагрузку.

К концу второй декады мая /через две недели после снижения нагрузок/ процессы минерализации завершались и снижение БПК<sub>5</sub> достигало 94,7 %. Это позволяло увеличить нагрузку в два раза - до  $600 \text{ м}^3/\text{га}/\text{сутки}$ , которая и была оптимальной в течение всего летнего периода для каскада 3. Допустимая нагрузка по БПК<sub>5</sub> в этих прудах составляла  $111,3 \text{ кгO}_2/\text{га}/\text{сутки}$  / при наличии устойчивой погоды/, а оптимальная -  $71,7 \text{ кгO}_2/\text{га}/\text{сутки}$ . Попытка увеличить нагрузку до  $750 \text{ м}^3/\text{га}/\text{сутки}$  не дала желаемых результатов.

В летние месяцы, для прудов, имеющих общую площадь 12 га, оптимальная нагрузка находилась в пределах  $800-850 \text{ м}^3/\text{га}/\text{сутки}$ , допустимая нагрузка БПК<sub>5</sub> составляла  $177 \text{ кгO}_2/\text{га}/\text{сутки}$ . Снижение БПК<sub>5</sub> в таких условиях происходило на 91,3%, а срок очистки находился в пределах 6,3-7,0 суток.

Для каскада 1 нагрузка механически очищенных стоков 800

$\text{м}^3/\text{га}/\text{сутки}$  была допустимой при условии, если  $\text{БПК}_5$  не превышало  $37,3 \text{ кгO}_2/\text{га}/\text{сутки}$ . Только в этом случае снижение  $\text{БПК}_5$  произошло на 95%.

Возрастание нагрузки до  $79,2 \text{ кгO}_2/\text{га}/\text{сутки}$  приводило к тому, что  $\text{БПК}_5$  снижалось только на 73%, что для летних месяцев явно недостаточно.

В спаренных мелководных прудах, имеющих площадь в 1,5-5,0 раза меньшую, чем каскады 1,2,3, нагрузка летом составляла  $1200 \text{ м}^3/\text{га}/\text{сутки}$  и  $184,4 \text{ кгO}_2/\text{га}/\text{сутки}$ . Снижение  $\text{БПК}_5$  в этих прудах происходило на 95,1%, т.е. в данном типе прудов в летние месяцы происходила самая эффективная очистка стоков при максимальных нагрузках.

В осенние месяцы производительность спаренных прудов до первой-второй декады ноября оставалась более высокой по сравнению с каскадами.

Так, во второй декаде ноября нагрузка на эти пруды составляла  $500 \text{ м}^3/\text{га}/\text{сутки}$  и  $71,9 \text{ кгO}_2/\text{га}/\text{сутки}$ .

В каскаде 2 в это же время нагрузка была  $600 \text{ м}^3/\text{га}/\text{сутки}$ , но срок очистки здесь был 9,8 суток, а в спаренных прудах - 4,8 суток.

В каскаде 3 нагрузка составляла  $400 \text{ м}^3/\text{га}/\text{сутки}$  при сроке очистки - 5,6 суток. Допустимая нагрузка для каскадов была  $43,8 \text{ кгO}_2/\text{га}/\text{сутки}$ . Снижение  $\text{БПК}_5$  во всех вариантах происходило одинаково - на 83,6%.

При расчете нагрузок нами было выявлено, что с увеличением площади прудов ослабляется зависимость между величиной нагрузки по  $\text{БПК}_5$  и качеством сбросной воды, т.е.

в этих прудах основное значение имеют сроки очистки и соответственно-величина гидравлической нагрузки.

В мелководных спаренных прудах срок пребывания имеет меньшее значение, и качество очистки зависит от плотности фитопланктона.

В каскадах 1,3, имеющих площадь 4,0 га эффективность очистки зависела как от гидравлических нагрузок, так и от БПК<sub>5</sub> кгО<sub>2</sub>/га/сутки.

При запуске в пруды флуоресцеина было установлено, что с изменением нагрузок срок пребывания стоков в прудах менялся в пределах от 45 часов до 15 суток.

Оптимальные сроки очистки, установленные экспериментально для разных вариантов прудов следующие: каскад 3-3,6 суток, каскад 1-5,0 суток, каскад 2-7,0 суток, спаренные пруды-2,7 суток, для летнего периода. Осенью и ранней весной в каскаде 3-5,6 суток, в каскаде 2-9,8 суток, в каскаде 1-7,0 суток, в спаренных прудах-4,8 суток.

Зимой для каскада 3 установлено 7-15 суток, для каскада 2-9,8 суток.

Глубина изучаемых прудов в определенные сезоны оставалась постоянной. В каскадах летом максимальной была глубина 1,7-1,8м, зимой-2,8м.

По данным СНиП для биологических прудов допустимой рекомендуется глубина 1м. Наши исследования показали, что при наличии переливов в прудах и при лонном поступлении в них стоков глубина 1,8-2,8 не противопоказана.

В мелководных прудах глубина была равномерной по всей площади и составляла 0,4-0,5 м. Летом в них, доступных ветру, теплу и освещению во всем слое воды создавались благоприятные условия для развития фитопланктона, а следовательно и для выработки избытка кислорода и эффективного окисления органических веществ. В зимний период мелководные пруды промерзали, поэтому, для обеспечения круглогодичной эксплуатации, в таких прудах следует предусматривать регулируемые глубины, которые зимой увеличиваются в 4-6 раз по сравнению с летними значениями.

#### Химический состав сбросной воды в зависимости от нагрузки.

В зимние месяцы особенно отчетливо проявилась зависимость между качеством сбросной воды и концентрацией органических загрязнений в поступающих стоках.

По данным Г. Стритера/ 1937/ это обусловлено тем, что зимой преимущественно происходит осветление воды за счет осаждения взвешенных веществ и частичного окисления кислородом, поступающим из атмосферы,

В таких условиях большое значение имеет наличие переливных устройств, способствующих дополнительной атмосферной аэрации за счет перепадов, которые имеются в каждом пруду каскадов 1,2,3. Благодаря переливам, даже в подледный период мы имели возможность получать ниже БПК<sub>5</sub> на 67,4-73,5%.

По данным гидрохимических исследований состав очищенной в прудах воды характеризовался следующими показателями: прозрачность—8,0—30,0 см, рН 7,0—8,1, растворенный кислород—3,2—25,1 мг/л, окисляемость—6,5—38,2 мг/л, взвешенные вещества 9,1—112,0 мг/л, БПК<sub>5</sub> 4,0—73,5 мг/л, сухой остаток — 600—1886 мг/л.

Максимальные показатели окисляемости, азота аммонийного и других показателей зависели от величин нагрузок, возрастание которых соответствовало увеличению приведенных величин или уменьшению их / растворенный кислород, сухой остаток/

Прозрачность воды, как правило, зависела от степени развития гидробионтов и была минимальной в летний период, когда развитие планктонных организмов было наибольшим.

Сухой остаток увеличивался к сбросу в зависимости от интенсивности минерализации органических веществ, плотности планктона, а также от содержания хлоридов и сульфатов, содержащихся в поступающих стоках, которые по мере прохождения через пруды меняются незначительно

#### Впускные устройства, влияющие на качество очистки.

По данным J. Anderson 1960, Нерман, Йоупа 1958, 1955, для эффективной очистки стоков большое значение имеет равномерное распределение воды по всему объему пруда, что в значительной степени зависит от конструкции впуска сточной воды в пруды.

Нами изучалось два вида впускных устройств: поверхностное поступление стоков, когда труба, выходящая из дамбы, открывается над волной поверхности следующего пруда и труба открывается у дна пруда. Наблюдаемые варианты с разными впусками имели одинаковую площадь—0,6га и глубину 1,8м. Исследования показали, что при поверхностном поступлении флуоресценци окрашивал только верхние слои в срединной части пруда. При донном поступлении происходило постепенное окрашивание воды по всему объему пруда.

Отбор проб на глубинах 0,3—0,7—1,8м показал, что при поверхностном поступлении стоков в придонном слое наблюдались анаэробные условия: прозрачность уменьшалась с 10,5 см в верхних слоях до 4,5 см у дна, окисляемость возрастала с 36,2 до 105,6 мг/л, БПК<sub>5</sub> увеличивалось с 34,5 до 112,5 мг/л, растворенный кислород снижался с 6,9 до 0,1 мг/л, а NH<sub>4</sub> возрастала с 7,0 до 18,0 мг/л.

При донном поступлении воды таких явлений не наблюдалось, т.к. поступление насыщенной кислородом воды в придонный слой устраняло в нем анаэробные условия. Кислород уменьшался с 12,5 мг/л у поверхности воды до 6,2 мг/л в придонном слое. Окисляемость, БПК<sub>5</sub>, азот аммонийный не возрастали, а напротив уменьшались по сравнению с поверхностными слоями, что частично было связано с "цветением" в этих прудах в период наблюдений.

## Закономерность соотношения анаэробных и аэробных зон в прудах при оптимальных нагрузках.

Исследования показали, что при оптимальных нагрузках наблюдается закономерное соотношение площадей анаэробных и аэробных зон.

В каскадах, состоящих из 1<sup>го</sup> прудов, анаэробная зона занимает 1/4 часть от остальной площади аэробных прудов, т.е. соотношение анаэробных зон к аэробным равно 1:3. В спаренных прудах анаэробная зона занимает 1/7 часть, т.е. соотношение равно 1:6

Это условие важно при проектировании проточных прудов, т.к. определяет их количество, которое в связи с выявленным соотношением может быть небольшим.

При устройстве проточных прудов нужно предусматривать анаэробный пруд, в котором происходит осаждение взвешенных веществ, яиц гельминтов и частичный съем БПК<sub>5</sub> хотя последнее не закономерно, т.к. мы часто наблюдали возрастание БПК<sub>5</sub> в анаэробных прудах за счет происходящих в них восстановительных процессов.

Для отключения анаэробного пруда при очистке его от иловых отложений, следует рекомендовать устройство второго параллельного анаэробного пруда, который будет подключаться к системе окислительных прудов

В последующих ступенях окислительных прудов, в которых происходит доочистка и стабилизация органических веществ, устраивается 1-2 ступени, имеющие площадь в

4-6 раз больше, чем анаэробный пруд. В них же надо предусматривать регулируемые глубины, изменение которых должно происходить от 0,4-0,5 м летом до 1,8-2,8 м - зимой, чтобы избежать промерзания, сохранить стабильный кислородный режим, который зимой зависит от интенсивности атмосферной аэрации, а следовательно - от наличия переливных устройств в прудах.

Сравнительная характеристика очистки сточных вод в проточных спаренных прудах и односекционным непроточном пруду.

Одинаковый эффект очистки в наблюдаемых вариантах происходил в разные сроки и при разных нагрузках: в односекционном пруду за 5-6 суток в период с июня по первую декаду сентября. Нагрузки в этом варианте находились в пределах 400-800 м<sup>3</sup>/га/сутки.

В спаренных прудах за этот же период стоки очищались в течение 2,0- 2,7 суток при нагрузках 1000-1200 м<sup>3</sup>/га/сутки.

Состав сброшенной воды в обоих вариантах характеризуется следующими показателями: окисляемость 6,8-12,9 мг/л, БПК<sub>5</sub>-4,0-6,7 мг/л, NH<sub>4</sub>-2,0-6,5 мг/л.

Ежедневная пропускная способность спаренных прудов составляла 3000 м<sup>3</sup>. За 5-6 суток, т.е. за время нахождения стоков в односекционном пруду, спаренные пруды перерабатывали 15-18 тыс. м<sup>3</sup> сточных вод, в 3,0-3,7 раза более, чем в односекционном.

Во второй декаде сентября очистка стоков в односекционном пруду происходила за 10 суток /при объеме нагрузки-400 м<sup>3</sup>/га/сутки/, спаренные пруды за это же время перерабатывали 30 тыс. м<sup>3</sup> сточных вод /при нагрузке 1000 м<sup>3</sup>/га/сутки/, что в 7,5 раза более объема стоков, перерабатываемых односекционным прудом.

#### Гидробиологические исследования.

Во всех вариантах прудов было определено 73 вида фито- и зоопланктона, перечень которых приведен в диссертации.

К преобладающим группам/по количеству видов/принадлежат эвгленовые-21%, вольвоксовые-21%, протоккокковые-16%.

Из зоопланктона наибольшего развития достигали *Bosmina calyciflores* Ehrh., *Daphnia magna* Strauss, *Cyclops stizenus* S. Fisch. Изучение периодичности развития планктона при заполнении сточными водами односекционного пруда показало, что в первые 2-3 суток происходило развитие  $\beta$ -амсапробных серобактерий, бесцветных жгутиковых, инфузорий рода *Colpidium*, в воде постоянно присутствовали *Nematodes* в количестве 500-700 экз/л.

На 3-4 сутки после заполнения пруда обнаруживалось значительное количество *Euglena viridis* Ehrh. 16700-59900 экз/л одновременно развивались *Chlorella vulgaris* Beijerinck 3,6 млн экз/см<sup>3</sup> воды, т.е. содержание амсапробов составляло 97-100% от общего числа показательных организмов.

В последующие 3-4 суток происходило постепенное сниже-

ние числа  $\alpha$ -сапробов и возрастание количества  $\beta$ -сапробных организмов: *Scenedesmus quadricauda* Turp Bréb, *Sc. obliquus* Meyer, *Sc. acuminatus* Lager Chol, *Microsetinium pusillum* Fress, *Pandorina tozint* Vogt, *Endocina elegans* Vogt, достигающих максимума на 6-8 сутки после заполнения пруда - до 54 млн. экз/см<sup>3</sup> воды.  $\beta$ -сапробы составляли от 39,9 до 99,0%

На восьмые-девятые сутки происходило заметное обеднение воды фитопланктоном за счет его отмирания и появлялись  $\beta$ -сапробные зоопланктонные организмы - *Brachionus calyciflorus* Ehrh - 96000 экз/л, *Daphnia magna* Strauss - 5600 экз/л

Весь процесс чередования видов занимал 12-14 дней.

В каскадах аналогичная закономерность наблюдалась последовательно по прудам: постепенный переход от  $\beta$ -сапробов, через  $\alpha$ -сапробы к  $\beta$ -сапробам.

Видовой состав был так же аналогичен односекционному пруду, с тем отличием, что в первых четырех анаэробных прудах каскадов наблюдалось массовое развитие *Sphaerotilus natans* Ktz, *Carchesium bachenmanni* Kent, типичных представителей загрязненных проточных вод.

В последних секциях прудов на смену фитопланктону появлялось большое количество зоопланктонных организмов. Их развитие заметно зависело от величин нагрузок: при возрастании их до 600-1200 м<sup>3</sup>/га/сутки / в каскаде 2 и 3 / зоопланктон, как правило, появлялся в последних секциях прудов, а при небольших нагрузках - 300-400 м<sup>3</sup>/га/сутки - в прудах 7-8

Изучение плотности планктона по сезонам показало, что наименьшая его плотность наблюдается зимой, наибольшая — летом.

В спаренных прудах плотность планктона возрастала к сбросу, в каскадах, напротив, уменьшалась.

Обычно количество организмов в  $1 \text{ см}^3$  исследуемой воды летом находилось в пределах 1,3–8,0 млн/см<sup>3</sup>, зимой — 50,6–1800 экз/см<sup>3</sup>.

Смена сапробных групп в зависимости от величины нагрузок происходила в течение 2–3 суток, что позволяло нам довольно быстро и точно оценивать правильность заданных на пруды нагрузок.

Обычно в зимние месяцы, если пруды не были перегружены, на сбросе преобладали  $\alpha$ - $\beta$ -сапробы, составляющие 46,6%. В весенне-летние периоды преобладали  $\beta$ -сапробы, составляющие 62,4–96,9%, в спаренных прудах процент  $\beta$ -сапробных организмов составлял 75,5–100.

#### Влияние развития фитопланктона на кислородный режим прудов

Для летних и поздне-осенних месяцев определение содержания кислорода, растворенного в воде производилось с 4–00 до 21–00, через каждый час.

Наблюдения показали, что количество кислорода летом в основном зависело от интенсивности фотосинтеза.

Наибольший процент насыщения воды кислородом составлял 247–290 — в спаренных прудах с автотрофным типом

### Биотического баланса.

В каскадах максимум насыщения воды кислородом был 230% в каскаде 3 и 100% - в каскаде 2. За счет переливов в этих каскадах не наблюдалось ночного дефицита кислорода, содержание <sup>его</sup> в спаренных прудах с наступлением темноты падало до 0,7 мг/л. В утренние часы кислород в этих прудах быстро восстанавливался и на качество очистки летом это явление не отражалось.

В третьей декаде ноября в спаренных прудах содержание кислорода было низким и составляло 12,2% от цифр насыщения, а в каскадах, за счет переливов, наблюдался благоприятный кислородный режим.

Даже в подледный период на сбросе из каскадов содержание растворенного кислорода находилось в пределах 5,0-11,0 мг/л, насыщение воды кислородом в среднем составляло 80%.

В холодный период, с прекращением развития фитопланктона великое значение в насыщении воды кислородом приобретает атмосферная аэрация.

В период массового развития протококковых водорослей /*Synechocystis*/ происходило максимальное снижение азота аммонийного - на 90% и содержание его на сбросе составляло 0,8 мг/л. Снижение калия происходило на 20%, а в спаренных прудах - на 53%/что связано с большей плотностью водорослей в этих прудах.

Нитритные и нитратные формы азота летом на сбросе из пруд-

дов летом почти отсутствовали, особенно в период "цветения". Осенью количество нитратов на сбросе возрастало до 4,0-6,0 мг/л

Величина рН в период "цветения" не превышала 8,0-8,5, снижение БПК<sub>5</sub> / в отфильтрованных стоках / в этот период было наибольшим.

Одновременно наблюдалось уменьшение щелочности до 2,2 мг-экв/л за счет связывания углекислоты в период ассимиляционной деятельности фитопланктона / П. Остапеня, Г. Винберг, 1961/

#### Бактериологические исследования.

Наибольшее снижение кишечной палочки происходило в 178,5 млн. раз по сравнению с содержанием ее в поступающих стоках. Это явление было закономерным особенно в период развития протококковых водорослей, которые в спаренных прудах в летние месяцы составляли 88% от общего количества определяемых видов.

При меньшей плотности водорослей в прудах, кишечная палочка снижалась в 10 тысяч-10 млн. раз.

Самая высокая величина коли-титра 1,0 наблюдалась нами в сбросных водах в зимние месяцы, соответственно в поступающих стоках коли титр составлял  $10^{-4}$ - $10^{-5}$ .

В прудах создаются сложные взаимоотношения между бактериями и фитопланктоном, когда отмирание одних влечет за собой бурное развитие других, поэтому последовательно по прудам закономерное и постепенное снижение к сбросу

числа колоний сапрофитных бактерий мы проследить не могли.

В период интенсивного развития зоопланктона происходило заметное уменьшение количества сапрофитных бактерий — более чем в 1000 раз по сравнению со стоками предыдущего пруда в котором в основном преобладали планктонные водоросли.

#### Гельминтологические исследования.

В каскадах 1,2,3 происходила 100%-ная дегельминтизация сточной воды во все сезоны, при сроке задержания сточной воды в каскадах 3,6-15 суток. Всего было обработано 450 литров очищенных сточных вод.

Обычно яйца гельминтов обнаруживались только в первых 2-3 прудах из существующих 9-12 в количестве 2-4 шт/л

В спаренных прудах и односекционном, непроточном пруду дегельминтизация составляла 99,8%.

Яйца гельминтов обнаруживались на сбросе из этих прудов преимущественно в период ливневых дождей, что при малой глубине прудов / 0,4-0,5 м/ вызывало взмучивание ила с осаждающимися в нем яйцами гельминтов.

Разработанная нами схема прудов, состоящих из 2-3 ступеней предусматривает наличие анаэробного пруда, предназначенного для осаждения в нем взвешенных веществ и яиц гельминтов, что и поможет устранить попадание их в сбросные воды при прохождении через последующие ступени мелко-водных окислительных прудов.

## Пруд-накопитель

Сточные воды в этом пруду аккумулировались в течение 120-150 суток - с третьей декады ноября по вторую декаду марта.

Исследования показали, что после некоторого осветления стоков в первые дни после заполнения накопителя, затем происходило ухудшение качества воды: полностью исчезал кислород,  $\text{БПК}_5$  возрастало с 70 до 147 мг/л, содержание азота аммонийного за счет восстановительных процессов увеличивалось с 40 до 80 мг/л, прозрачность уменьшалась с 6,0 до 1,5 см. Наблюдалось загнивание осадка, вода приобретала черный цвет и гнилостный запах.

При проведении физикохимических исследований обнаруживалось большое количество соединений в виде белесой муты, проходящей через фильтры.

Во второй декаде марта происходило некоторое осветление стоков, разбавленных в период таяния снега, льда и ливневых дождей.

Однако, по своему составу стоки приближались к исходным показателям, которые были определены нами при заполнении пруда-накопителя загрязненными водами в третьей декаде ноября.

Следовательно, за весь период аккумуляции фактически осветления воды в накопителе не происходит и она не может сбрасываться в водоем.

перепуск такой воды на поля орошения не может быть рехо-

мендован, т.к. наличие в ней большого количества коллоидных соединений будет отрицательно влиять на структуру почвы.

Эксплуатация прудов в этот же период показала, что в них происходит снижение БПК<sub>5</sub> на 75% за 7-15 суток, даже при неблагоприятных зимних условиях.

#### Экономическая эффективность биологических прудов

Основные затраты на строительство прудов приходятся на земляные работы. Эксплуатационные расходы заключаются в ремонтных работах, связанных с починкой дамб, шахтных колодцев, подающих каналов.

При одинаковой пропускной способности карт поля фильтрации площадью 169 га и проточных прудов, имеющих площадь 23,1 га, применение прудов дает экономию в 253 тыс. рублей по строительной стоимости и 52,6 тыс. рублей – по ежегодным эксплуатационным расходам.

В районах с наличием тяжелых грунтов, поля фильтрации целесообразно заменять проточными прудами, что обеспечивает гораздо большую пропускную способность, высокий эффект очистки и сокращение земельной площади в 8-11 раз.

Стоимость обработки сырых сточных вод на станции механической очистки в сочетании с биологическими прудами составляет 1,3 коп на 1 м<sup>3</sup> воды, а на биологической станции – 9,9 коп, что в 7,5 раза дороже.

Применение проточных биологических прудов в сочетании с механической очисткой дает экономию по сравне-

нию с биологической очисткой по ежегодным эксплуатационным расходам - на 621,7 тыс. рублей, а по строительной стоимости - на 11,5 млн. рублей /рассчитано для объема стоков 200 тыс. м<sup>3</sup>/сутки/

## В Н В О Д И

1. Проточные последовательно-соединенные биологические пруды являются очень эффективными и экономичными очистными сооружениями для обезвреживания городских сточных вод, работающими в течение круглого года как самостоятельно, так и в сочетании с механической очисткой.

2. В прудах зимой происходило снижение БПК<sub>5</sub> на 75% при нагрузке 300 м<sup>3</sup>/га/сутки.

Весной и осенью БПК<sub>5</sub> снижалось на 83,6% при нагрузках 400-500 м<sup>3</sup>/га/сутки.

Летние нагрузки в пределах 1000-1200 м<sup>3</sup>/га/сутки обеспечивали снижение БПК<sub>5</sub> на 91,5%

3. Срок очистки сточной воды зависел от величин объемных нагрузок и БПК<sub>5</sub> кгО<sub>2</sub>/га/сутки и находился в пределах 7-15 суток зимой, 4,8-9,8 суток - осенью и весной и 2,0-3,6-7,0 суток - летом.

4. При оптимальных нагрузках в прудах выявлялось соотношение анаэробных и аэробных зон. При наличии 12 прудов в каскаде соотношение площадей этих зон равнялось 1:3, при наличии двух прудов 1:6

5. Передливные устройства в виде шахтных колодцев в биологических прудах способствуют дополнительной атмосферной аэрации стоков зимой и установлению в прудах стабильного кислородного режима.

Донное поступление сточной воды в пруды устраняет струйность потока и обеспечивает равномерное распределение воды по всему объему пруда.

6. В районах с наличием грунтов, имеющих слабые фильтрационные свойства, карты полей фильтрации целесообразно заменять спаренными проточными прудами, что позволяет сократить земельную площадь в 8-11 раз и увеличить пропускную способность сооружений в 10-12 раз.

7. В односекционных непроточных прудах нагрузка сточной воды на единицу площади в 1,5-3,0 раза ниже, чем в проточных прудах, а срок очистки больше в 2,5-4,0 раза. Поэтому применение этих прудов в производстве нецелесообразно, так как они являются сезонными очистными сооружениями.

8. При устройстве прудов, имеющих площадь 12 га ослабляется зависимость между нагрузками, выраженными в БПК<sub>5</sub> кгО<sub>2</sub>/га/сутки и качеством очистки.

В этих условиях основное значение приобретает величина гидравлических нагрузок и срок пребывания сточной жидкости в прудах.

9. В изучаемых нами вариантах прудов наблюдалась сезонная смена видов планктона, аналогичная смене а во-

доемах эвтотрофного типа: максимум развития диатомовых водорослей в ранне-весенний и поздне-осенний периоды - до 80,5% от общего числа организмов и преобладали протококковых и вольвоксовых в летние месяцы - до 88,8%.

В зимние месяцы доминировали инфузории.

10. Во всех вариантах прудов преобладавшие систематические группы фитопланктона представлены эвгленовыми - 21% от общего количества видов, вольвоксовыми - 21% и протококковыми - 16%

11. Наибольшая плотность фитопланктона отмечалась в спаренных прудах: до 8 млн. клеток в 1 см<sup>3</sup> воды, что способствовало перенасыщению воды кислородом на 290% и интенсификации окислительных процессов.

12. Правильно рассчитанным нагрузкам соответствовало преобладание *Bm* сапробных организмов на сбросе из прудов составляющих 96,9-100% от общего числа показательных организмов.

13. Наибольшее снижение органических загрязнений и возрастание коли титра с  $10^{-10}$ - $10^{-12}$  до  $10^{-2}$ - $10^{-1}$  происходило в период развития протококковых водорослей.

14. Дегельминтизация сточной воды в проточных прудах составляла 99,3-100%

15. Аккумуляция сточной воды в пруду-накопителе оказалась нецелесообразной в связи с загниванием осадка в

подледный период и наличием анаэробных условий.

Осветления хозяйственно-бытовых сточных вод в период аккумуляции в течение 120-150 суток не происходило.

16. Применение биологических прудов в качестве самостоятельных очистных сооружений дает экономию в сравнении с полями фильтрации на 256 тыс. рублей - по строительной стоимости и 52,6 тыс. рублей - по ежегодным эксплуатационным расходам.

Использование проточных прудов в сочетании с механической очисткой по сравнению с искусственной биологической дает экономию в 11,5 млн. рублей - по строительной стоимости и 621,7 тыс. рублей - по ежегодным эксплуатационным расходам.

В результате проведенных исследований были разработаны конкретные рекомендации производству по проектированию и эксплуатации проточных биологических прудов.

#### Публикации по теме диссертации

1. Очистка сточных вод в биологических прудах г. Донецка  
Материалы Второго Всесоюзного научно-технического совещания по очистке и использованию сточных вод на Земледельческих полях орошения  
Москва, 1965.
2. Биологические пруды получают путевку в жизнь  
ж. "Рыбоводство и рыболовство" №6, 1965
3. Дегельминтизация сточных вод в биологических прудах  
ж. "Гигиена и санитария" №5, 1966

4. Проточные биологические пруды для очистки сточных вод.

.. "Водооснабжение и санитарная техника" №12, 1966

5. Опыт очистки городских сточных вод в биологических прудах.

"Гидробиологический журнал" №6, 1966

Ответственный за выпуск БОНДАРЕНКО Л.А.

Б.ц. 70094. Подписано к печати 24/Х-1968 г. Физ. п.л. 0,8  
Усл. п.л. 1,43. Заказ № 159. Тираж 200 экз.

---

Ротапринт Укр. НИИРСиГ, г. Харьков, Московский пр., 142



TÜ RAAMATUKOGU



10300016293633

