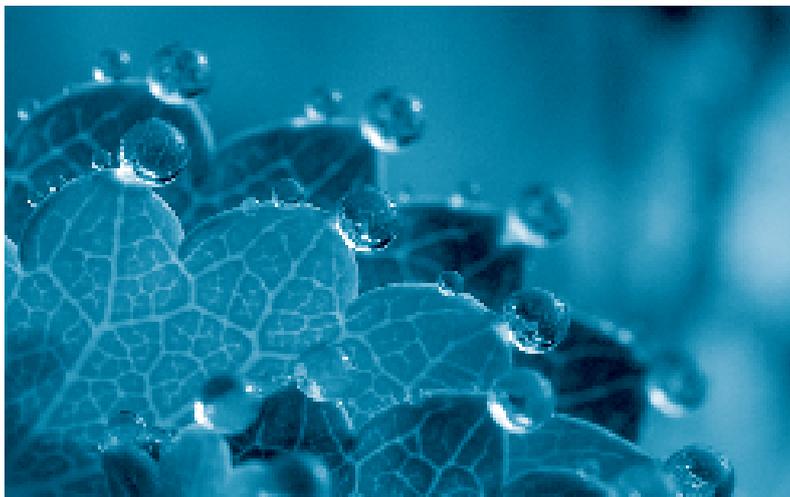


# БИОЛОГИЧЕСКОЕ ВОССТАНОВЛЕНИЕ САМООЧИЩАЮЩЕЙ СПОСОБНОСТИ ИСКУССТВЕННЫХ ВОДНЫХ ЭКОСИСТЕМ

Проведены работы по восстановлению самоочищающей способности биопруда ПО «Киришинефтеоргсинтез» (первой карты второй системы водоотведения) методом летования. Восстановлена экосистема водоема во всем ее многообразии. Во время восстановления экосистемы произведена и массовая интродукция ряда видов водных животных и растений.



## Введение

Эвтрофикация водоемов в результате неразумной хозяйственной деятельности человека может приводить к «цветению» водоёмов — перераспределению биомассы в сторону увеличения основного её содержания на первом трофическом уровне, что, в свою очередь, ведёт к повышению мутности, появлению аноксидных зон, деградации и гибели водных экосистем [1].

В результате загрязнения водоёма многообразие видов сокращается. Одновременно падает и способность водоема к самоочистке и саморегуляции. Состав микрофлоры значительно обедняется и свободное место в водоеме занимают, как правило, сине-зелёные водоросли.

Данные закономерности относятся и к искусственным водным экосистемам, в частности — к биопрудам.

В процессе эволюции Природой созданы механизмы поддержания гомеостаза водных экосистем в достаточно широких интервалах колебания концентрации биогенных эле-

**Л.С. Кель\***, кандидат технических наук, заместитель директора по научной работе, ООО «Природные системы»

**М.В. Середа**, кандидат технических наук, заместитель директора по экологии, ПО «Киришинефтеоргсинтез»

ментов в системе. Изучение и применение данных механизмов позволит предвидеть и бороться с деградацией и гибелью водных экосистем при их антропогенной эвтрофикации. В нашем случае, применительно к биопрудам, применение данных механизмов позволит эффективно бороться с «цветением» биопрудов [2].

К наиболее эффективным, известным нам, механизмам поддержания гомеостаза водных экосистем относятся:

- чётное количество основных трофических уровней, равное 4, что, согласно теории естественного равновесия Хейрстона, Смита и Слободкина, приводит к подавлению биомассы первого трофического уровня;

- организмы фильтраторы — представители различных классов животного мира, осуществляющие пеллетную транспортировку биогенных веществ на дно водоёма;

- высокие скорости роста организмов первого и второго трофических уровней;

- возможность быстрой структурной перестройки экосистемы с заменой экологически эквивалентными видами.

Спецификой искусственных водных экосистем — биопрудов является достаточно случайный и бедный видовой состав

Адрес для корреспонденции: LevKell@mail.ru

представителей высокоорганизованных классов растений и животных, что часто делает невозможным или недостаточно эффективным действие вышеуказанных механизмов поддержания гомеостаза водных экосистем. Если представители низших классов организмов в силу их размеров и специфики жизненных циклов беспрепятственно попадают в экосистему биопрудов, то для представителей высокоорганизованных классов необходим внешний фактор их внесения в экосистему. Роль такого фактора — осмотрительного и разумного, должен выполнять человек. При выборе представителей различных классов растительного и животного мира как факторов влияния на планктонные микроводоросли водоёма перспективными представляются следующие.

1. Подавление планктонных микроводорослей представителями 2-го трофического уровня. Фильтраторы — зоопланктон, двухстворчатые моллюски, фитопланктоноядные рыбы.

2. Конкурентное подавление планктонных микроводорослей (свет, биогенные элементы, аллелохимические факторы) высшими водными растениями и водорослями.

3. Опосредованное подавление планктонных микроводорослей представителями 4-го трофического уровня (хищные рыбы, рыбоядные черепахи). Согласно теории естественного равновесия Хейрстона, Смита и Слободкина, в экосистемах с чётным количеством трофических уровней наблюдается подавление биомассы на нечётных уровнях — 1-м и 3-м [3].

## Результаты и их обсуждение

Остановимся более подробно на вопросе подбора и интродукции в биоценоз биопруда представителей высокоорганизованных классов организмов, которые должны удовлетворять следующим требованиям:

- по своим физиологическим параметрам быть способными к существованию и размножению в конкретном биопруде, являющемся эфтрофной водной экосистемой;

- обладать способностью к подавлению бурного роста планктонных микроводорослей;

- не ухудшать качество воды с точки зрения ее последующего сброса в естественные водные экосистемы либо возврата в замкнутый цикл водоиспользования. В част-

**Ключевые слова:** эвтрофикация, «цветение», сине-зелёные водоросли, летование

ности, не попадать в водозабор (реотаксис, прикрепление к грунту, нахождение не в водозаборной зоне водоёма).

В работах [4, 5] приведены примеры успешного подавления «цветения» воды биологическими методами искусственных водных экосистем на ПО «Киришинефтеоргсинтез».

В частности, в промышленных условиях достигнуто подавление «цветения» воды:

- на первом пруду первой системы водоотведения завода с помощью организмов 2-го трофического уровня — южных рас дафний;

- на первом каскаде буферных прудов очищенных хозяйственных сточных вод г. Кириши с помощью высших водных растений — пистии.

- достигнуто количественное подавление представителями 4-го трофического уровня — ротанами популяции доминантного представителя 3-го трофического уровня — карася. Тем самым созданы предпосылки для активизации 2-го трофического уровня (зоопланктона) и подавления 1-го трофического уровня (фитопланктона).

Однако, для полного биологического восстановления самоочищающей способности искусственных водных экосистем, в частности биопрудов ПО «Киришинефтеоргсинтез», необходимо избавиться от отмершего органического вещества и избытка биогенных веществ, содержащихся в донном иле. Механическая выемка ила приемлема для сравнительно небольших водоёмов. Суммарный же объём всех биопрудов (карт) ПО «Киришинефтеоргсинтез» составляет более 15 млн. м<sup>3</sup>. Данные биопруды (карты) первой и второй систем водоотведения эксплуатируются уже более 30 лет.

В данной работе приведены результаты восстановления самоочищающей способности биопруда (первой карты второй системы водоотведения) методом летования.

Экосистема данной карты после её эксплуатации в течение 30 лет деградировала и потеряла способность к самоочистке и саморегуляции. Каждое лето на карте происходило «цветение» сине-зелёных водорослей. При этом прозрачность воды падала с 200 и более мм до 60-70 мм (прозрачность воды определяли унифицированным количественным методом в соответствии с международным стандартом ИСО 7027 <http://www.anchem.ru/literature/books/muraviev/020.asp>) и она приобретала неприятный запах. Высшие погружные водные растения (роголистник, пе-



Рис. 1. Дафнии с карты 1-2.



Рис. 2. Первые колонии роголистника на карте 1-2 в августе 2008 г.

Таблица 1

Химический состав воды карты 2-2 за летние месяцы (июнь-сентябрь) 2008-2012 гг. и карты 1-2 за летние месяцы 2012 г.

Показатели химического состава	Сульфаты мг/л	Хлориды мг/л	БПК <sub>5</sub> мг/л	Раств. кислород мг/л	Взв. вещества мг/л	Общий азот мг/л	Общий фосфор мг/л
2008 г. 2-2	480	324	7	8,4	19	3,6	1,1
2009 г. 2-2	312	212	11	10,2	55	2,0	1,0
2010 г. 2-2	209	132	21	9,1	96	2,6	0,9
2011 г. 2-2	196	156	24	8,3	47	4,3	1,1
2012 г. 2-2	149	112	14	8,2	60	2,1	0,6
2012 г. 1-2	266	133	7	6,7	14	3,7	0,5

ристолитник, элодея канадская) пропали из экосистемы данной карты.

Весной 2008 г. карта была опорожнена для её восстановления методом летования. При этом на дне карты остались небольшие неглубокие водоёмы глубиной до 1 м за счёт рельефа дна, занимающие не более 25 % общей поверхности дна карты.

В конце мая началось бурное «цветение» этих мелководных прудов, оставшихся на карте. Вода позеленела и к началу июня прозрачность воды на карте упала до 28 мм. Во второй половине июня появились дафнии и их количество к началу июля возросло до нескольких тысяч штук на литр, при этом вода к началу июля обесцветилась (рис. 1).

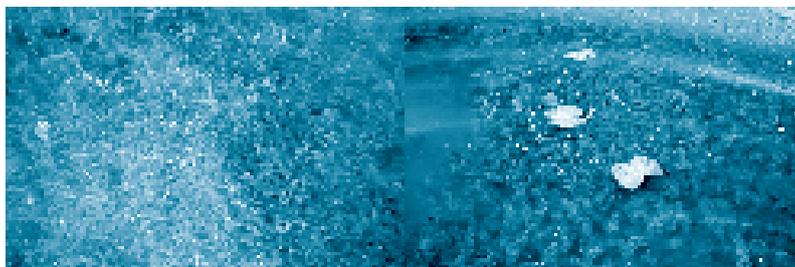
В конце июля дафнии почти исчезли, и начался второй пик цветения. Затем в середине августа опять появились дафнии в количестве до нескольких тысяч штук на литр и вода снова обесцветилась.

Высаживаемые в мае – июле на карту высшие водные растения (роголистник и элодея канадская), покрывались бурым налётом и гибли. И лишь к концу августа, после второго пика «цветения» интродуцируемые высшие водные растения – роголистник и элодея канадская, перестали гибнуть и началась их активная вегетация (рис. 2).

Данные интродуцированные виды перезимовали и с весны 2009 г. продолжили активную вегетацию. В результате, к осени 2009 г. они уже покрывали большую часть поверхности дна водоёмов (рис. 3).

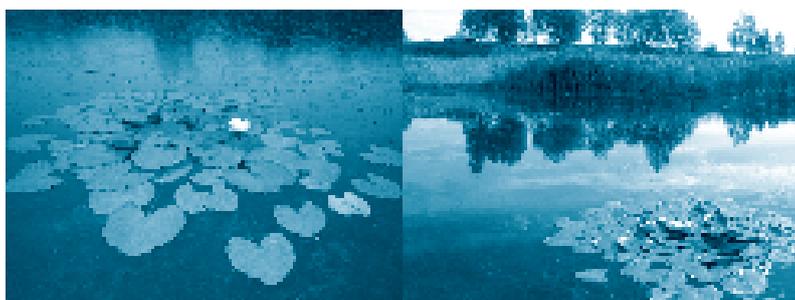
Проведена также интродукция организмов второго трофического уровня – беззубок, мелких улиток семейств Planorbidae и Limnaeacea и больших прудовых улиток (*Limnaea stagnalis* L.). Восстановилось поголовье рыб – карасей.

В 2009 г. к этим растениям добавлены также кувшинки (рис. 4).



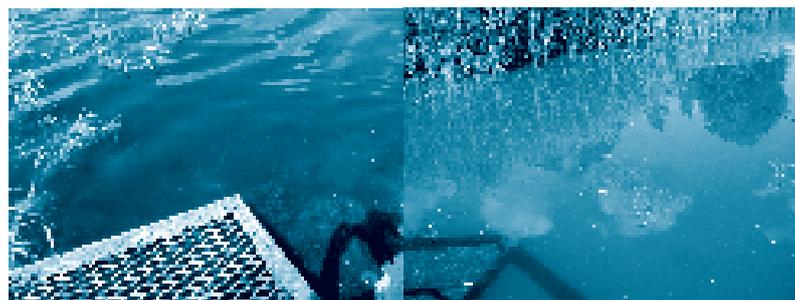
А Б

**Рис. 3.** Заросли элодеи канадской и роголистника на дне карты 1-2.



А Б

**Рис. 4.** Цветущие кувшинки на пруду первой карты второй системы водоотведения (А) и общий вид пруда (Б) в конце сентября 2010 г.



А Б

**Рис. 5.** Вид карты 1-2 (А) и 2-2 (Б) в июле 2012 г.

Дно карты за исключением небольших оставшихся водоёмов густо заросло травой, в частности, клевером.

Весной 2012 г. карта введена в работу и на неё снова поданы стоки второй системы водоотведения. В *табл. 1* приведён сравнительный химический состав воды карты 2-2 за летние месяцы (июнь-сентябрь) 2008-2012 гг. и карты 1-2 за летние месяцы 2012 г.

Как следует из приведённых в *табл. 1* данных, химический состав воды карты 1-2 в 2012 г. существенно не отличается от состава воды карты 2-2 за 2012 г. и за предыдущие годы. При этом если карта 2-2 довольно сильно «цвела» в 2012 г. и в предыдущие

годы и прозрачность воды в ней падала до 60-80 мм, то «цветение» воды на карте 1-2 в 2012 г. не наблюдалось и прозрачность в ней в течение летнего сезона не падала ниже 200 мм. Соответственно, содержание взвешенных веществ на карте 1-2 составляло лишь 14 мг/л, в то время как на карте 2-2 — 60 мг/л. Вид карты 2-1 и 2-2 в 2012 г. представлен на *рис. 8, 9*). На карте 2-1 в большом количестве присутствуют высшие погружные водные растения — роголистник и элодея канадская, в то время как на карте 2-2 высшие погружные водные растения отсутствуют.

Следует также отметить, что глубина слоя воды на карте 1-2 в течение летнего периода 2012 г. в среднем составляла 1 м, что способствовало бурной вегетации не только прибрежной растительности (рогоза и тростника), но и погружных высших водных растений (элодеи канадской и роголистника) по всей площади карты 1-2. В свою очередь, высшие водные растения подавляют развитие водорослей, препятствуя «цветению» водоёма. Глубина слоя воды на карте 2-2 в течение летнего периода 2012 г. и в предыдущие годы в среднем составляла 2 м, что не позволяло развиваться погружным водным растениям.

## Заключение

**Д**ля восстановления самоочищающей способности искусственных водных экосистем необходимо:

- с помощью летования избавиться от органики и биогенов активного ила;
- восстановить экосистему водоёма во всем её многообразии — трофические цепи и трофические уровни. Во время восстановления экосистемы необходимо производить интродукцию нужных видов водных животных и растений, после чего поддерживать такие условия, чтобы на первом уровне преобладали не одноклеточные водоросли, которые зимой отмирают и разлагаются со всеми негативными последствиями, а погружные высшие водные растения (роголистник, элодея канадскую, перистолистник и т. п.). Последние зимуют под водой и составляют в летний вегетационный период конкуренцию одноклеточным водорослям (сине-зелёным, хлорелле и т.п.), препятствуя их массовому размножению и последующим негативным явлениям — отмиранию, нехватке кислорода, загниванию.

Для этого необходимо поддерживать глубину водоема в пределах 1,0-1,5 м, при которой ещё возможно массовое развитие водных погружных растений.

### *Литература*

1. Одум Ю. Основы экологии. М.: Мир, 1975. 740 с. URL. <http://www.twirpx.com/file/91230/>
2. Келль Л.С. Управление структурной организацией искусственных водных экосистем как фактор улучшения качества воды // Экология урбанизированных территорий. 2009. №1. С. 36-39.
3. Одум Ю. Экология. Т. 1. М.: Мир, 1986. С. 164–165.
4. Келль Л.С. Биологические методы борьбы с «цветением» в биопрудах / Л.С. Келль, М.В. Серeda // Экология производства. 2010. №8. С. 60-65.
5. Серeda М.В. Использование биологических методов подавления «цветения» воды при ее доочистке в биопрудах / М.В. Серeda, Л.С. Келль // Нефтепереработка и нефтехимия. 2011. Вып. 5. С. 32-35.

L.S. Kell, M.V. Sereda

## WATER ECOSYSTEMS, ECOBIOTECHNOLOGY AND NOOSPHEROGENESIS

Recovery of self-cleaning ability of biopond of “Kirishnefteorgsintez” was carried out by method of aestivation. Its biodiversity was regenerated and during this process introduction of some strains of water plants and animals was made.

**Key words:** eutrophication, “bloom”, blue-green algae, aestivation