

# ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ДООЧИСТКИ ГОРОДСКИХ СТОЧНЫХ ВОД В БИОПРУДАХ

**В. В. Маркин, к.т.н.; В. А. Маркин, к.т.н., доцент**

ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры», г. Макеевка

**Аннотация.** Статья посвящена исследованию эффективности доочистки городских сточных вод в биологических прудах с естественной аэрацией на примере биопрудов очистной станции г. Доброполья. В результате исследования установлена высокая эффективность доочистки сточных вод по взвешенным веществам (73 %) и БПК (86 %), значительная эффективность по нитратам (51 %) и низкая – по фосфатам (24 %). Кроме того, выявлено повышение концентрации аммония и нитритов в стоках после биопрудов, вследствие процессов ассимиляционной и неполной диссимиляционной денитрификации соответственно. В результате сравнения качества доочистки сточных вод в 2016 и 2021 гг. установлено, что без проведения периодических мероприятий по очистке биопрудов их эффективность постепенно снижается. Рассмотрены существующие способы интенсификации очистки стоков в биопрудах и определено, что наиболее рациональным способом является культивирование в водоемах высшей водной растительности при условии ее своевременного удаления и последующей утилизации.

**Ключевые слова:** сточные воды, биологические пруды, доочистка, эффективность, взвешенные вещества, БПК, аммоний, нитриты, нитраты, фосфаты



**Маркин  
Вячеслав Владимирович**



**Маркин  
Виктор Алексеевич**

## ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ

Биологические пруды представляют собой искусственно созданные водоемы для биологической очистки сточных вод (СВ), основанной на процессах, которые происходят при самоочищении природных водоемов. Биологические пруды устраиваются на водонепроницаемых или слабопроницаемых грунтах. Они предназначаются для очистки СВ прежде всего от органических соединений и могут быть применены в качестве сооружений основного этапа биологической очистки либо для доочистки стоков [1]. Данная работа посвящена исследованию эффективности биопрудов, используемых для доочистки городских СВ.

Процесс очистки СВ в биопрудах обычно предусматривается в аэробных условиях. Аэрация может быть естественная за счет диффузии кислорода из атмосферы или искусственная с применением пневматических или механических аэраторов. Кроме того, кислород выделяется фототрофными гидробионтами (микроводорослями, водными растениями) в процессе фотосинтеза. При этом водоросли поглощают углекислый газ, азот, фосфор и другие макро- и микро-элементы, снижая их содержание в СВ. Органические вещества, присутствующие в исходных СВ, а также образующиеся при отмирании фототрофных организмов, минерализуются сапрофитной микробиотой, использующей растворенный кислород. Между фототрофными и сапрофитными организмами существует, с одной стороны, симбиоз, с другой стороны – антагонизм, так как некоторые водоросли выделяют бактерицидные вещества (фитонциды), которые приводят к гибели бактерий, в том числе и патогенных [2;3]. Таким образом в биопрудах возможно осуществление очистки СВ не только от органических веществ, но и от биогенных элементов – азота и фосфора, а также частичное снижение патогенной микрофлоры. Удаление азота и фосфора является особо актуальной современной природоохранной задачей, обусловленной острой необходимостью снижения темпов антропогенного эвтрофирования природных водоемов.

**Анализ последних исследований и публикаций.** В настоящее время биологические пруды редко применяются при новом строительстве городских канализационных очистных сооружений (КОС). Поскольку для их устройства требуются большие площади, предпочтение отдается более высокоэффективным и промышленным способам доочистки [4]. Тем не менее, биологические пруды входят в состав многих существующих очистных станций малой, средней, а иногда и большой производительности. Кроме того, действующим сводом правил СП 32.13330.2018 «Канализация. Наружные сети и сооружения» биологические

пруды рекомендуется использовать для доочистки СВ среди прочих видов сооружений [5]. Однако, методологическая база по проектированию биопрудов является устаревшей, так как основная методика расчетов, приведенная в различной специализированной литературе, позволяет выполнить расчет только по одному показателю – БПК [6,7]. Данная методика взята из «старого» СНиП 2.04.03-85. «Канализация. Наружные сети и сооружения» [8]. Рекомендации по расчету эффективности удаления из СВ биогенных соединений: азота аммонийного, нитритов, нитратов, фосфатов в специальной и нормативной литературе отсутствуют.

При этом в некоторых литературных источниках имеются данные об эффективности доочистки СВ в биопрудах по ряду показателей. Так, в источнике [9, с. 420] приведена информация об эффективности доочистки СВ в биопрудах в холодный и теплый периоды года. Недостатком приведенных данных является то, что диапазон значений эффективности и показателей довольно широкий. Из приведенной информации следует, что в холодный период эффект доочистки по взвешенным веществам, БПК и азоту аммонийному увеличивается по сравнению с теплым периодом (до 70-100 %), а по нитратам уменьшается (до 10 % зимой, в то время как летом – 10-30 %). По фосфатам данные вовсе не представлены.

В работе [10] были исследованы показатели эффективности нескольких биопрудов в Курской области. В частности, установлено, что биологические пруды ООО «Суджанский маслодельный комбинат» обеспечивают высокую эффективность доочистки СВ по взвешенным веществам (94,3 %), БПК<sub>5</sub> (94,1 %), аммонийному азоту (72 %), нитритам (62,3 %), нитратам (70,2 %) в весеннее и летнее время. Данная тенденция противоречит источнику [9]. Также в исследовании [10] проанализирована работа биопрудов с высшей водной растительностью (ВВР) после очистных сооружений Курскводоканала и отмечена высокая эффективность доочистки по взвешенным веществам (90,7 %), фосфатам (82,4 %), нитритам (65,4 %), нитратам (65,4 %), общему железу (50 %). Столь высокие показатели могут быть объяснены применением в данных биопрудах ВВР. Достаточно высокая эффективность доочистки была обнаружена у биопрудов МУП «Водозабор»: 90,5 % – по взвешенным веществам, 87,1 % – по фосфатам, 96 % – по азоту аммонийному, 85,6 % – по нитритам, 25 % – по нитратам [10].

В целом, имеющиеся литературные данные по исследуемому вопросу в некоторой степени противоречивы. Кроме того, в изученных литературных источниках не описывается хронология изменения качества доочистки СВ в биопрудах за длительный период времени. Таким образом, дополнительные исследования эффективности доочистки СВ в биопрудах актуальны и имеют практическую ценность.

**Целью работы** является исследование эффективности доочистки городских СВ в биологических прудах на примере биопрудов канализационных очистных сооружений г. Доброполье.

**Основной материал.** Проектная производительность КОС г. Доброполья – 10 000 м<sup>3</sup>/сут. Фактиче-

ское количество поступающих на очистку стоков составляет около 2 350 м<sup>3</sup>/сут. СВ поступают в основном от жилых массивов города и от ряда предприятий хозяйственно-бытового сектора.

В состав технологической линии очистной станции г. Доброполья последовательно входят следующие сооружения: решетки с ручной очисткой, песколовки горизонтальные с круговым движением жидкости, первичные вертикальные отстойники, двухкоридорный аэротенк (реконструированный контактно-стабилизационный аэротенк), вторичные вертикальные отстойники, контактный резервуар и три биопруда. Обеззараживание осуществляется электролизным гипохлоритом натрия.

Сточные воды проходят через биологические пруды последовательно. Аэрация биопрудов естественная. Площадь первого биопруда составляет около 2 450 м<sup>2</sup>, второго – 5 200 м<sup>2</sup>, третьего – 4 700 м<sup>2</sup>. Гидравлическая глубина биопрудов – около 1 м. Время пребывания СВ в первом биопруду – 1,02 суток, во втором – 2,2 суток, в третьем – 2,04 суток. Общее время пребывания – 5,26 суток. Нагрузка на поверхность зеркала воды первого пруда – 0,959 м<sup>3</sup>/(м<sup>2</sup>•сут), второго – 0,452 м<sup>3</sup>/(м<sup>2</sup>•сут), третьего – 0,5 м<sup>3</sup>/(м<sup>2</sup>•сут). В биопрудах отсутствуют направляющие дамбы или другие сооружения, повышающие степень использования объема, поэтому коэффициент его задействования невелик и согласно литературным данным составляет около 0,35.

Спутниковая фотография площадки очистных сооружений с биопрудами представлена на рис. 1. КОС располагаются фактически на границе городской застройки г. Доброполье.



Рис. 1. Спутниковая фотография площадки КОС г. Доброполья с биопрудами

Особенностью технологического режима сооружений биологической очистки КОС г. Доброполья является низкая нагрузка на активный ил – 100...200 мгБПК<sub>5</sub>/(гб.в.•сут) (время аэрации – 22-24 часа), благодаря чему происходит глубокая нитрификация и концентрация азота аммонийного в сточной жидкости после вторичных отстойников снижается до 0,5...2 мг/дм<sup>3</sup> (в отдельные периоды даже до 0,1 мг/дм<sup>3</sup>).

Так как в аэротенке не предусмотрена денитрификация, то нитраты при этом повышаются до 100...200 мг/дм<sup>3</sup>.

Вторая особенность работы КОС г. Доброполя – хроническое «вспухание» активного ила. Иловый индекс обычно составляет 180...250 г/см<sup>3</sup>, а зачастую повышается и 300 г/см<sup>3</sup>. При таких чрезвычайно высоких значениях илового индекса происходит постоянный повышенный вынос хлопьев активного ила из вторичных отстойников в контактный резервуар и далее в первый биопруд. Вследствие этого в сточных водах, поступающих в первый биопруд, содержание взвешенных веществ и БПК<sub>5</sub> составляет 25...60 мг/дм<sup>3</sup>.

Такие значения содержания взвесей и БПК<sub>5</sub> обусловлены именно наличием в биологически очищенных стоках неосевших хлопьев ила, так как после дополнительного отстаивания в лабораторном цилиндре и отбора проб воды из верхней части цилиндра данные показатели снижаются до 10...15 мг/дм<sup>3</sup>. Причины «вспухания» активного ила в рамках темы работы не описываются.

Реагентное или улучшенное биологическое удаление фосфатов на КОС г. Доброполя не предусмотрено, поэтому эффективность их снижения составляет около 30 %, а содержание в стоках после вторичных отстойников – 10...20 мг/дм<sup>3</sup>. Таким образом, в биопруды после очистных сооружений поступают СВ с повышенным содержанием взвешенных веществ, БПК, нитратов, фосфатов и низкой концентрацией азота аммонийного и нитритов.

Для оценки эффективности доочистки СВ в биопрудах КОС г. Доброполя были проанализиро-

ваны результаты лабораторно-производственного контроля работы очистных сооружений химико-бактериологической лабораторией Добропольского ПУВКХ.

Исследование показателей качества СВ осуществлялось следующими методами: содержание взвешенных веществ – гравиметрическим методом по методике, аналогичной [11]; биохимическая потребность в кислороде – йодометрическим методом [12]; концентрация аммония в сточных водах – фотометрическим методом с реактивом Несслера [13]; концентрация нитрит-ионов – фотометрическим методом с реактивом Грисса [14]; концентрация нитратов – фотометрическим методом с салициловой кислотой [15]; концентрация фосфатов – фотометрическим методом с молибдатом аммония [16]. Фотометрические анализы проводились на фотоэлектроколориметре КФК-3. Содержание взвешенных веществ и азота аммонийного определялось пять раз в неделю, БПК<sub>5</sub>, нитритов, нитратов и фосфатов – по два раза в неделю.

Данные проанализированы за 2016 и 2021 гг. с целью определения динамики изменения эффективности биопрудов при том, что их чистка в течение указанного периода не проводилась. Концентрации взвесей, БПК<sub>5</sub>, азота аммонийного, нитритов и нитратов в СВ перед биопрудами и после них в 2016 г. (средние значения по неделям года) приведены на рисунках 2-6. Средние, максимальные и минимальные значения указанных показателей, а также эффективность доочистки СВ в биопрудах за 2016 г. приведены в таблице 1.

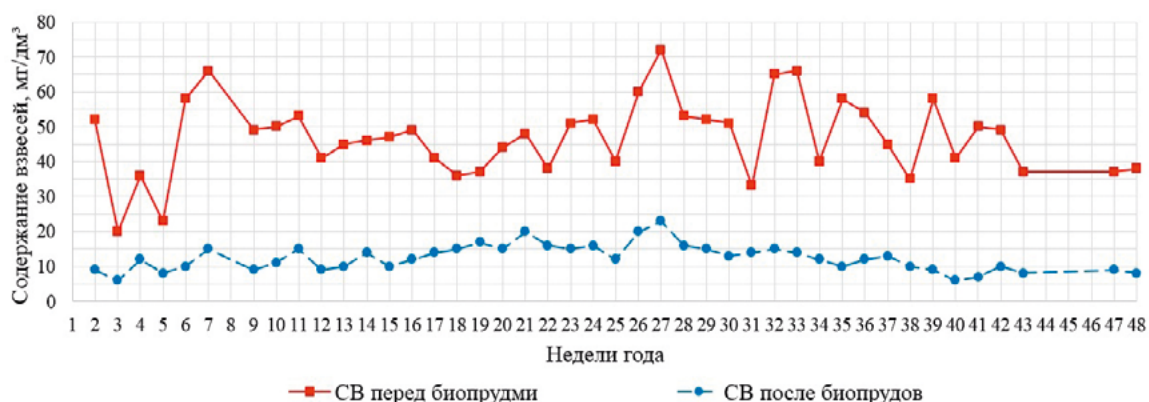


Рис. 2. Содержание взвешенных веществ в СВ до и после биопрудов КОС г. Доброполя в 2016 г.

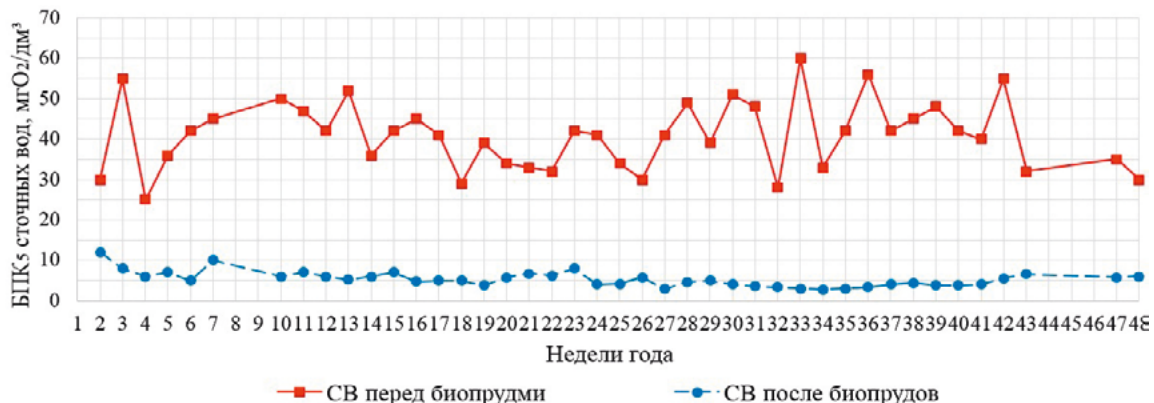


Рис. 3. БПК<sub>5</sub> сточных вод до и после биопрудов КОС г. Доброполя в 2016 г.

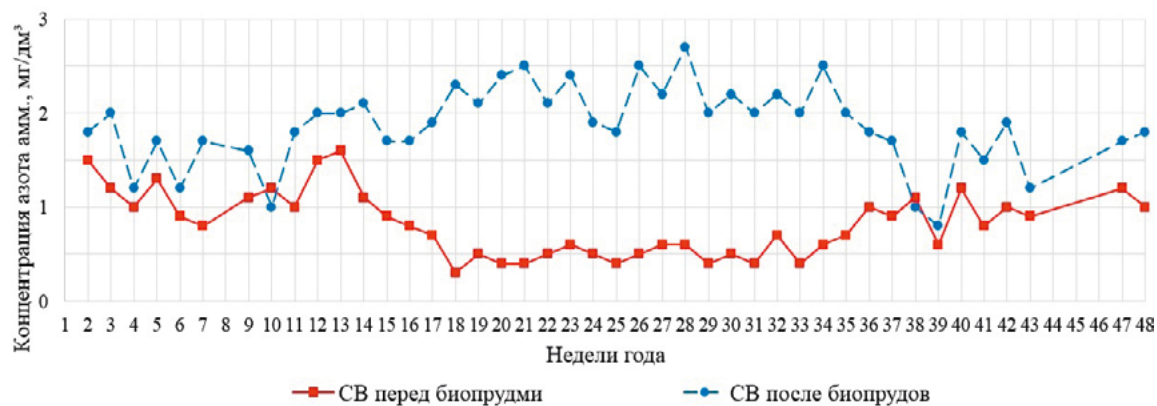


Рис. 4. Концентрация азота аммонийного в СВ до и после биопрудов КОС г. Доброполья в 2016 г.

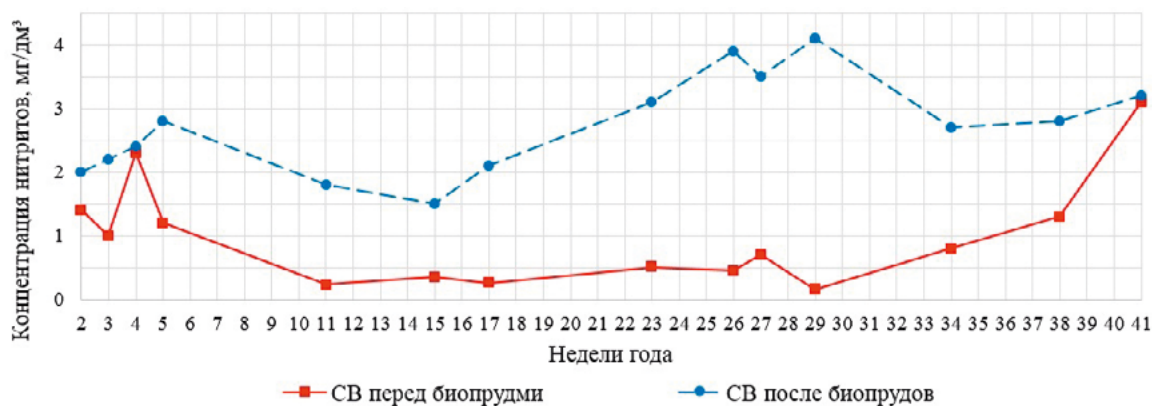


Рис. 5. Концентрация нитритов в СВ до и после биопрудов КОС г. Доброполья в 2016 г.

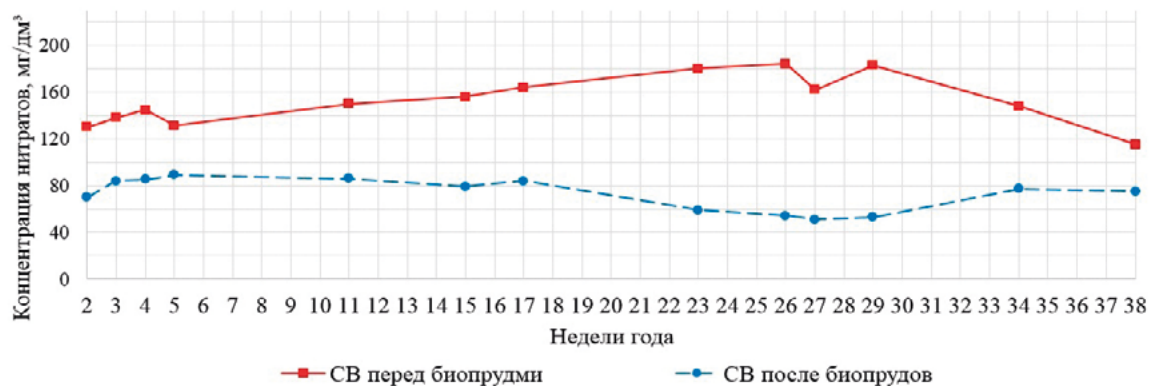


Рис. 6. Концентрация нитратов в СВ до и после биопрудов КОС г. Доброполья в 2016 г.

Таблица 1.

Эффективность доочистки СВ в биопрудах КОС г. Доброполья в 2016 г.

Показатель	Ед. изм	Вход			Выход			Эффективность очистки, %		
		Макс.	Мин.	Сред.	Макс.	Мин.	Сред.	Макс.	Мин.	Сред.
Взвеш. в-ва	мг/дм <sup>3</sup>	72	20	43	23	6	12	86	54	73
БПК <sub>5</sub>	мгО <sub>2</sub> /дм <sup>3</sup>	60	25	41	12	3	5	95	60	86
Азот аммон.	мг/дм <sup>3</sup>	1,6	0,3	0,8	2,7	0,8	1,9	-	-	-
Нитриты	мг/дм <sup>3</sup>	3,1	0,2	1	4,1	1,5	2,7	-	-	-
Нитраты	мг/дм <sup>3</sup>	184	115	153	89	51	73	71	32	51

В приведенных данных прослеживаются следующие тенденции. Биологические пруды обеспечивают достаточно высокую эффективность доочистки СВ по взвешенным веществам – 73 %, со средней конечной концентрацией взвесей – 12 мг/дм<sup>3</sup>. При этом необходимо отметить, что в холодный период времени эффективность очистки несколько выше, чем в теплый, а конечное содержание взвесей соответственно ниже: 6-12 мг/дм<sup>3</sup> – в холодное время и 10-23 мг/дм<sup>3</sup> – в теплое (рис. 2).

Эффективность снижения БПК очень высокая в течение всего года. Средний эффект очистки составляет 86 %, конечные показатели – 3-12 мгО<sub>2</sub>/дм<sup>3</sup> (в среднем – 5 мгО<sub>2</sub>/дм<sup>3</sup>).

Весьма интересные тенденции выявлены в изменениях содержания азота аммонийного и нитритов – их концентрации после биопрудов стабильно увеличиваются. При низких значениях на входе – 0,3-1,6 мг/дм<sup>3</sup> азота аммонийного и 0,2-3,1 мг/дм<sup>3</sup> нитритов – их содержание после биопрудов повышается до 0,8-2,7 мг/дм<sup>3</sup> и 1,5-4,1 мг/дм<sup>3</sup> соответственно. В изученных литературных источниках сведения об увеличении аммония и нитритов после биопрудов отсутствуют, напротив – даже при низких исходных концентрациях происходит дальнейшее снижение этих соединений [9;10]. Объяснить увеличение аммония и нитритов можно за счет процесса интенсивной денитрификации. Эффективность снижения нитратов составляет 32-71 %. Учитывая, что в СВ, поступающих в биопруды, количество легкодоступных растворенных органических веществ невелико,

можно предположить, что, наряду с диссимиляционной денитрификацией, в значительной мере протекает и ассимиляционная, в ходе которой нитраты поглощаются бактериями и водными растениями, используются для построения их клеточных структур (выработки белков, ферментов и т.д.), а после отмирания, распада и гидролиза клеточного вещества образуется, в конечном итоге, аммоний. Повышение нитритов может быть объяснено протеканием неполной диссимиляционной денитрификации, при которой некоторая часть нитритов не восстанавливается до N<sub>2</sub>. В подтверждение этих предположений свидетельствует тот факт, что концентрации азота аммонийного и нитритов в большей степени повышаются в теплое время года, когда денитрификация происходит более интенсивно.

С целью определения динамики изменения эффективности доочистки СВ в биопрудах с течением времени при отсутствии мероприятий по их очистке, по аналогии была проанализирована эффективность биопрудов КОС г. Доброполья в 2021 г. (рис. 7-12, таблица 2).

Эффективность доочистки СВ в биопрудах по взвешенным веществам в 2021 г. составила в среднем 65 %, что на 8 % ниже по сравнению с 2016 г. При этом среднее конечное содержание взвесей повысилось с 12 мг/дм<sup>3</sup> до 17 мг/дм<sup>3</sup>. На графике (рис. 7) также можно заметить некоторое повышение содержания взвешенных веществ в теплый период года по сравнению с холодным: 10-18 мг/дм<sup>3</sup> – в холодное время и 15-28 мг/дм<sup>3</sup> – в теплое.

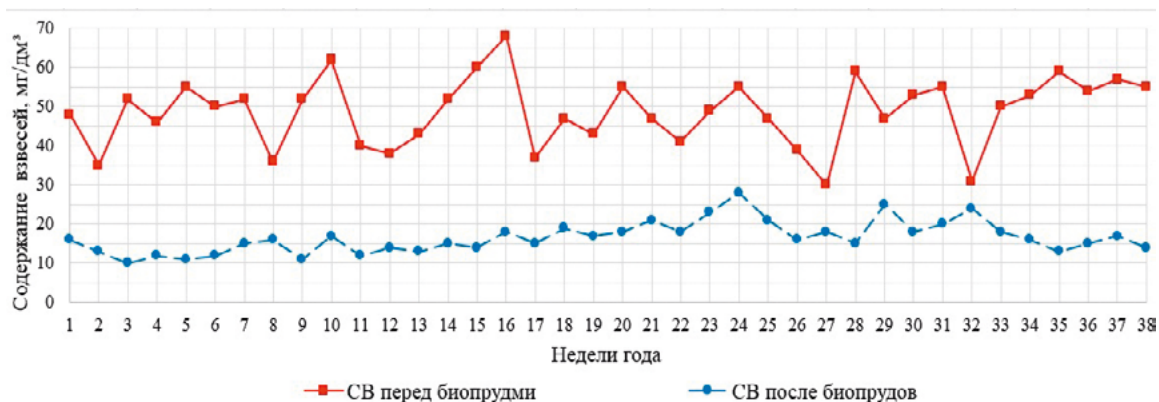


Рис. 7. Содержание взвесей в СВ до и после биопрудов КОС г. Доброполья в 2021 г.

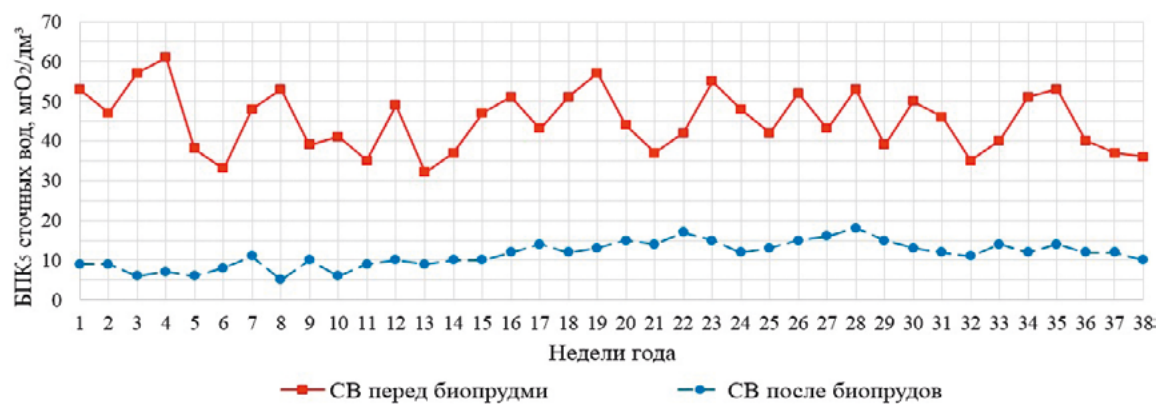


Рис. 8. БПК<sub>5</sub> сточных вод до и после биопрудов КОС г. Доброполья в 2021 г.

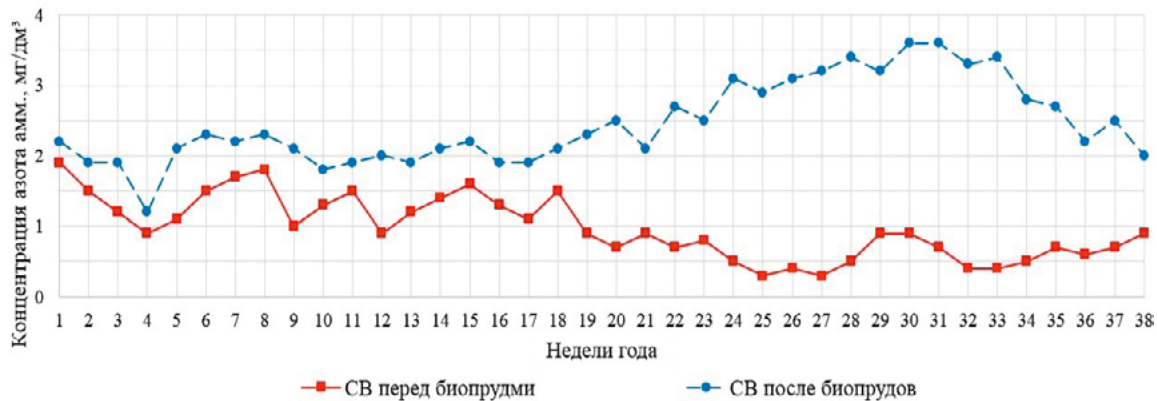


Рис. 9. Концентрация азота аммонийного в СВ до и после биопрудов КОС г. Доброполья в 2021 г.

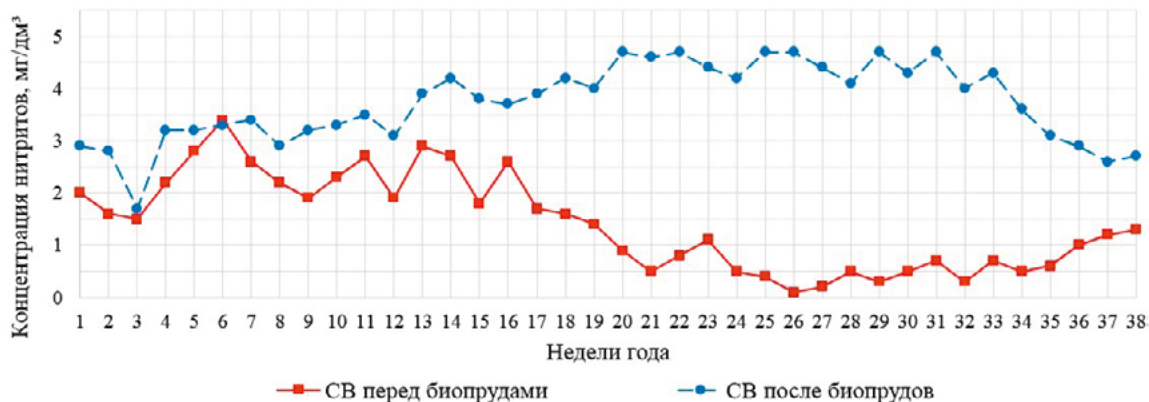


Рис. 10. Концентрация нитритов в СВ до и после биопрудов КОС г. Доброполья в 2021 г.

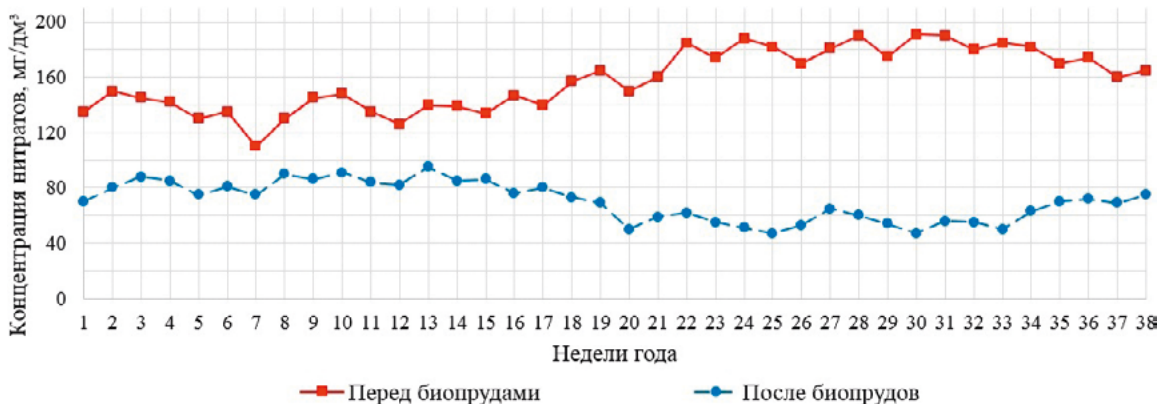


Рис. 11. Концентрация нитратов в СВ до и после биопрудов КОС г. Доброполья в 2021 г.

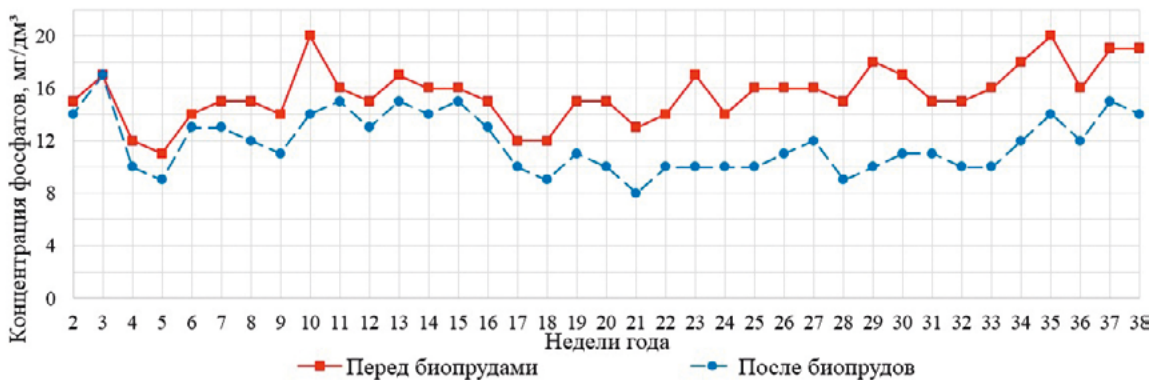


Рис. 12. Концентрация фосфатов в СВ до и после биопрудов КОС г. Доброполья в 2021 г.

Таблица 2.

Эффективность доочистки СВ в биопрудах КОС г. Доброполя за 2021 г.

Показатель	Ед. изм	Вход			Выход			Эффективность очистки, %		
		Макс.	Мин.	Сред.	Макс.	Мин.	Сред.	Макс.	Мин.	Сред.
Взвеш. в-ва	мг/дм <sup>3</sup>	68	30	49	28	10	17	81	23	65
БПК <sub>5</sub>	мгО <sub>2</sub> /дм <sup>3</sup>	61	32	45	18	5	11	91	60	74
Азот амм.	мг/дм <sup>3</sup>	1,9	0,3	1,0	3,6	1,2	2,5	–	–	–
Нитриты	мг/дм <sup>3</sup>	3,4	0,1	1,4	4,7	1,7	3,7	–	–	–
Нитраты	мг/дм <sup>3</sup>	191	110	158	95	47	70	75	30	54
Фосфаты	мг/дм <sup>3</sup>	20	11	16	17	8	12	0	44	24

Эффект доочистки по БПК<sub>5</sub> снизился по сравнению с 2016 г. на 12 % и составил в среднем 74 %, среднее конечное значение БПК<sub>5</sub> – 11 мгО<sub>2</sub>/дм<sup>3</sup>. В отличие от 2016 г. в 2021 г., по аналогии со взвешенными веществами, прослеживается тенденция снижения эффекта очистки по БПК в теплый период года: конечное БПК<sub>5</sub> в теплый период – 11-18 мгО<sub>2</sub>/дм<sup>3</sup>, в холодный – 6-11 мгО<sub>2</sub>/дм<sup>3</sup>.

Концентрация азота аммонийного в СВ перед биопрудами в 2021 г. находилась в пределах от 0,3 до 1,9 мг/дм<sup>3</sup>, то есть была практически на таком же уровне, как и в 2016 г. После биопрудов концентрация азота аммонийного, как и в 2016 г., стабильно возрастает, однако, конечные значения уже выше – 1,2-3,6 мг/дм<sup>3</sup>. Тенденция увеличения концентрации аммония после биопрудов в теплый период года сохраняется (рис. 9).

Похожая картина наблюдается и с нитритами: их содержание на выходе выросло по сравнению с 2016 г. в среднем до 3,7 мг/дм<sup>3</sup>, что на 1 мг/дм<sup>3</sup> выше. В теплое время года концентрации нитритов в стоках после биопрудов также возрастают (1,7-3,5 мг/дм<sup>3</sup> – в холодное время и 2,6-4,7 мг/дм<sup>3</sup> – в теплое).

Показатели доочистки СВ от нитратов практически сопоставимы с 2016 г.: средняя эффективность снижения – 54 %, концентрации нитратов в СВ после биопрудов 47-95 мг/дм<sup>3</sup> (в среднем 70 мг/дм<sup>3</sup>). В теплый период года интенсивность денитрификации повышается с 31-48 % до 43-75 %.

Эффективность доочистки СВ от фосфатов составила в среднем 24 %. Концентрация фосфатов перед биопрудами – 11-20 мг/дм<sup>3</sup>, после них – 8-17 мг/дм<sup>3</sup>. При этом эффект очистки в теплое время года (17-44 %) значительно выше, по сравнению с холодным (0-20 %).

Подводя итог анализа эффективности биопрудов КОС г. Доброполя, можно заключить, что они обеспечивают высокий эффект доочистки СВ по взвешенным веществам и БПК, довольно значительный по нитратам за счет ассимиляционной и диссимиляционной денитрификации, однако, азот аммонийный и нитриты при этом наоборот увеличиваются. Кроме того, эксплуатация биопрудов без проведения мероприятий по поддержанию их очистительной способности приводит к постепенному накоплению в водоемах органических веществ, биогенных элементов, эвтрофированию и снижению качества очистки.

Необходимо отметить, что показатели эффективности биопрудов КОС г. Доброполя значительно

ниже по сравнению с эффективностью биопрудов со специальным культивированием ВВР и другими интенсифицирующими технологиями, особенно по азоту аммонийному, нитритам и фосфатам [10]. На территории ДНР довольно много биопрудов, аналогичных биологическим прудам КОС г. Доброполя, и, соответственно, имеется возможность существенно повысить качество доочистки СВ за счет интенсификации их работы.

Повышение эффективности доочистки СВ в биопрудах возможно несколькими способами:

- устройством систем искусственной аэрации;
- строительством внутри водоемов насыпных валов, образующих «змеевидные» коридоры (повышается процент задействования объема, скорость потока жидкости и исключается образование застойных зон);
- устройством подводных фильтрационных дамб из сорбционных материалов с выращиванием на их поверхности ВВР;
- культивированием в биопрудах ВВР.

Последний способ наиболее перспективный и наименее затратный. Он заключается в специальном выращивании в биопрудах ВВР. Вдоль берегов высаживаются такие растения как: камыш, рогоз, тростник, аир, сусак, ирис, стрелолист и др. Они же могут быть определенным образом высажены и по всей площади водоема. Кроме того, в водоеме эффективно культивирование придонных водорослей и растений – элодеи, урути, телореза, а также свободноплавающих – рдеста, эйхорнии и др. ВВР выгодны тем, что они выделяют кислород не только в поверхностных слоях водоема, как сине-зеленые планктонные водоросли, но и в глубинных. ВВР быстро поглощают различные растворенные вещества (в т. ч. аммоний, нитриты, нитраты, фосфаты) и являются конкурентами одноклеточных и мелких водорослей, при этом их гораздо проще удалять из водоема, не допуская разложения растений и протекания процессов эвтрофирования [11]. Отмершие растения можно утилизировать различными способами, например, в качестве корма для скота.

## ВЫВОДЫ

В работе исследована эффективность доочистки городских СВ в биологических прудах с естественной аэрацией КОС г. Доброполя. Установлена высокая эффективность доочистки СВ по взвешенным веще-

ствам (73 %) и БПК (86 %), значительная эффективность по нитратам (51 %), низкая – по фосфатам (24 %) и повышение концентраций аммония и нитритов. Установлено, что без проведения периодических мероприятий по очистке водоемов их эффективность постепенно снижается. Рассмотрены существующие способы интенсификации очистки СВ в биопрудах и в качестве наиболее рационального способа выделено культивирование в биопрудах ВВР при условии ее своевременного удаления и последующей утилизации.

## Список литературы

1. Курузов, А. Г. Очистка сточных вод / А. Г. Курузов, Г. Р. Патракова, М. А. Рузанова. – Казань : Издательство КНИТУ, 2020. – 108 с. – ISBN 978-5-7882-2849-5. – Текст : электронный // Цифровой образовательный ресурс IPR SMART : [сайт]. – URL: <https://www.iprbookshop.ru/121020.html> (дата обращения: 11.01.2023).
2. Барабаш, Н. В. Биохимические методы очистки сточных вод / Н. В. Барабаш. – Ставрополь : Северо-Кавказский федеральный университет, 2015. – 98 с. – Текст : электронный // Цифровой образовательный ресурс IPR SMART : [сайт]. – URL: <https://www.iprbookshop.ru/63076.html> (дата обращения: 11.01.2023).
3. Garcia-Rodríguez, A. The ability of biologically based wastewater treatment systems to remove emerging organic contaminants – a review / A. Garcia-Rodríguez, V. Matorros, C. Fontas, V. Salvado. – Text: direct / Environmental Science and Pollution Research. – 2014. – V. 21. – P. 11708-11728.
4. Воронов, Ю. В. Водоотведение и очистка сточных вод / Ю. В. Воронов, С. В. Яковлев. – М.: Изд-во Ассоциации строительных вузов, 2006. – 704 с. – Текст: непосредственный.
5. СП 32.13330.2018. Свод правил. Канализация. Наружные сети и сооружения. СНИП 2.04.03-85 / Введ. взамен СП 32.13330.2012. Актуализированная редакция СНИП 2.04.03-85. Канализация. Наружные сети и сооружения. ; введ. 2019-06-26. – М.: ФГУП «Стандартинформ», 2019. – 76 с. – Текст: непосредственный.
6. Корзун, Н. Л. Биотехнологии очистки сточных вод городов и предприятий / Н. Л. Корзун. – Саратов : Вузовское образование, 2014. – 187 с. – Текст : электронный // Цифровой образовательный ресурс IPR SMART : [сайт]. – URL: <https://www.iprbookshop.ru/20405.html> (дата обращения: 11.01.2023). – Режим доступа: для авторизир. пользователей.
7. Гудков, А. Г. Биологическая очистка городских сточных вод / А. Г. Гудков. – Вологда: ВоГТУ, 2002. – 127 с. – Текст: непосредственный.
8. СНИП 2.04.03-85. Строительные нормы и правила. Канализация. Наружные сети и сооружения. – Введ. 1985-05-01. – М.: ФГУП ЦПП, 2006. – 87 с. – Текст: непосредственный.
9. Ковальчук В. А. Очистка сточных вод / В. А. Ковальчук. – Ровно: ОАО «Рівненська друкарня», 2002. – 622 с. – Текст: непосредственный.
10. Лукьянчиков, Д. И. Защита поверхностных вод Курской области от антропогенного загрязнения путем применения биологических прудов с высшей водной растительностью : специальность 25.00.27 «Гидрология суши, водные ресурсы, гидрохимия» : автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата географических наук / Лукьянчиков Дмитрий Игоревич. – Курск, 2012. – 24 с. – Текст: непосредственный.
11. ПНДФ 14.1:2:4.254-2009. Методика измерений массовых концентраций взвешенных веществ и прокаленных взвешенных веществ в пробах питьевых, природных и сточных вод гравиметрическим методом : утв. ФБУ «ФЦАО» 28.08.2012 / разработ. ФБУ «ФЦАО». – Москва, 2012. – 14 с. – Текст : непосредственный.
12. ПНД Ф 14.1:2:3:4.123-97. Методика выполнения измерений биохимической потребности в кислороде после n-дневной инкубации (БПКполн) в поверхностных пресных, подземных (грунтовых), питьевых, сточных и очищенных сточных водах : утв. Государственный комитет РФ по охране окружающей среды 21.03.1997 : дата актуализации 2004-03-03 / разработ. ФБУ «ФЦАО». – Москва, 2004. – 37 с. – Текст : непосредственный.
13. ПНД Ф 14.1:2:3.1-95. Методика измерений массовой концентрации ионов аммония в природных и сточных водах фотометрическим методом с реактивом Несслера : утв. ФБУ «ФЦАО» 28.05.2017 : аттестована Центром метрологии и сертификации «СЕРТИМЕТ» Уральского отделения РАН : дата введ. 2017-09-01 / разработ. ФБУ «ФЦАО». – Москва, 2017. – 26 с. – Текст : непосредственный.
14. НДП 10.1:2:3.91-06. Методика измерений массовой концентрации нитрит-ионов в питьевых, поверхностных и сточных водах фотометрическим методом с реактивом Грисса : утв. ЗАО «РОСА» 12.09.2011 : дата введ. 2011-03-05 : дата актуализации 2017-05-05 / разработ. ФБУ «ФЦАО». – Москва, 2017. – 10 с. – Текст : непосредственный.
15. ПНД Ф 14.1:2:4.4-95. Методика измерений массовой концентрации нитрат-ионов в питьевых, поверхностных и сточных водах фотометрическим методом с салициловой кислотой : утв. ФБУ «ФЦАО» 23.03.2011 / разработ. ФБУ «ФЦАО». – Москва, 2011. – 18 с. – Текст : непосредственный.
16. ПНД Ф 14.1:2:4.112-97. Методика измерений массовой концентрации фосфат-ионов в питьевых, поверхностных и сточных водах фотометрическим методом с молибдатом аммония : утв. ФБУ «ФЦАО» 23.03.2011 / разработ. ФБУ «ФЦАО». – Москва, 2011. – 18 с. – Текст : непосредственный.
17. Сардина, А. С. Возможности использования макрофитов для доочистки сточных вод / А. С. Сардина, А. М. Капизова, А. Э. Усынина, Н. С. Шуваев. – Текст: непосредственный // Естественные науки: актуальные вопросы и социальные вызовы : Материалы III Международной научно-практической конференции, Астрахань, 27–28 ноября 2020 года / Астрахань: Издательский дом «Астраханский университет», 2020. – С. 250–255.