Экологическое планирование и управление · 2007 · № 2(3) · С. 46–53.

Очистка поверхностного стока на габионных водопропускных и фильтрующих сооружениях

С.М. Чесалов., О.К. Калантаров, Ю.А. Лион, М.Н. Моисеев
Научно-производственное объединение «Эколандшафт», Москва

В статье представлен десятилетний опыт использования методов инженерной биологии при очистке поверхностного стока. Авторами выделены и подробно рассмотрены три группы открытых самотечных габионных очистных сооружений, обязательным элементом которых является биоплато. Результаты многолетней эксплуатации этих сооружений показывают, что степень очистки поверхностного стока может достигать ПДК вредных веществ для водоёмов рыбохозяйственного назначения.

В последние годы в связи с ростом транспортного, гражданского, промышленного строительства в Москве, Московской области и других регионах России, и с соответствующим ужесточением требований по соблюдению природоохранного законодательства, заметно возросла потребность в очистных сооружениях поверхностного стока для самых разных реконструируемых и строящихся объектов.

За десять лет работы в этой области Научно-производственным объединением «Эколандшафт» разработаны, спроектированы и построены более ста габионных сооружений различных конструкций, в основном обеспечивающих очистку ливневых, талых и моечных вод с автомобильных дорог.

Побудительной причиной к разработке и строительству габионных очистных сооружений послужило повышение требований к охране окружающей среды, в том числе и защите водных объектов от загрязнения ливнёвым стоком при реконструкции Московской кольцевой автомобильной дороги (МКАД). Сжатые сроки проектирования и строительства, а также финансовые ограничения не позволили повсеместно применять промышленные, энергозависимые очистные сооружения. В связи с этим и было принято решение о проектирование и строительстве первых природоподобных габионных водопропускных фильтрующих сооружения (ВПФС-1).

Необходимо отметить, что эти габионные сооружения появились в результате совместных разработок, в которых приняли участие проектировщики, строители, представители эксплуатирующей организаций и организации экологического сопровождения реконструкции МКАД.

В основу идеи разработки способов очистки вод ливневого стока положен известный принцип биоинженерной технологии: мобилизации процессов самоочищения экосистем водных объектов, в том числе, в составе очистных сооружений.

Эти сооружения можно разделить на 3 группы:

1-я группа —водопропускные фильтрующие сооружения (ВПФС-1) на постоянных небольших водотоках, достигаемая степень очистки поверхностного стока 60-80% (рис.1, вклейка).

2-я группа — водопропускные фильтрующие сооружения (ВПФС-2) для очистки ливнёвого стока при свободном сбросе на поверхность окружающего ландшафта («сброс на рельеф») или в водные объекты культурно-бытового назначения. Степень очистки поверхностного стока в этом случае — до ПДК вредных веществ для водоёмов культурно-бытового назначения (рис. 2, вклейка).

3-я группа — габионные очистные фильтрующие сооружения (ГОФС) для очистки поверхностного стока перед сбросом его в водоёмы и водотоки рыбохозяйственного назначения. Степень очистки — до ПДК вредных веществ для водоемов рыбохозяйственного назначения (рис. 3, вклейка).

Очистка поверхностных вод происходит при прохождении стоков по лоткам из матрасов «Рено», камер отстойников, с доочисткой на биоплато — мелководном бассейне, засаженным высшими водными растениями (макрофитами). Для достижения более высокой степени очистки дополнительно используются фильтрующие камеры с зернистой загрузкой и камеры с сорбентом.

Все эти сооружения являются самотёчными, поэтому для их работы не требуется насосное оборудование и, следовательно, электричество и служебные помещения. Габионные сооружения являются природоподобными, поскольку

они строятся из натурального камня, вписываются в естественные формы ландшафта, в их состав в качестве обязательного элемента, входит биоплато или, как его еще называют, гидроботаническая площадка или биопруд. Искусственное биоплато содержит только природные компоненты: небольшие ограждающие стенки из габионов, растительный грунт, необходимый для успешного развития высшей водной растительности (макрофитов) и гидробионтов, характерных для района строительства. Это в основном рогоз узколистный (*Typha angustifolia* L.) или широколистный (*Typha latifolia* L.), камыш (*Seirpis lacustris* L.) или тростник (*Phragmites karka variegata* L.). При посадке 10–16 штук на 1 м^2., уже через год плотность рогоза увеличивается в несколько раз и биоплато работает с максимальной эффективностью (рис. 4, 5).

Для определения эффективности работы габионных очистных сооружений на них проводились мониторинговые наблюдения с отбором проб воды.

Специальные опробования, произведенные летом 2006 г. спустя 7–8 лет после строительства первых габионных сооружений для очистки поверхностного стока, показали, что эти сооружения продолжают успешно работать.

Ниже, более детально описаны конструкции габионных очистных сооружений каждой группы и приведены результаты их работы.

Водопропускные фильтрующие сооружения на постоянных водотоках (ВПФС-1)

Это одни из самых простых габионных очистных сооружений, задача которых состоит в том, чтобы поддержать процессы самоочищения водотоков за счет создания в русле небольших проточных каскадных водоёмов, разделённых плотинами. Как правило, количество и размеры всех элементов определяются конструктивно, с минимальным нарушением естественного ландшафта.

В устье водотока при впадении его в более крупный водный объект устраивается биоплато.

Создание первых искусственных биоплато опиралось на опыт и разработки ведущих специалистов России по изучению очищающей способности естественных биоценозов высшей водной растительности [1–6].

В таблице 1 приводятся результаты работы нескольких подобных сооружений. Как видно из данных таблицы, эффективность очистки вод ливневого стока в зависимости от начальной концентрации загрязняющих веществ на входе изменяется от 20% — при концентрациях близких к ПДК вредных веществ для водоемов культурно-бытового назначения до 50–90 % — при высоких начальных концентрациях. К несомненным преимуществам работы сооружений первой группы относится то, что они не требуют дополнительной площади для своего размещения и сложного обслуживания.

Таблица 1. Содержание загрязняющих веществ на входе и выходе габионных водопропускных фильтрующих сооружений первой группы (ВПФС-1)

№ п/п	Дата	Название объекта	Место отбора пробы	Содержание веществ, мг/л		Эффективность очистки в %		Лаборатория (№ протокола)
				НП	ВВ	НП	ВВ	
1	28.03.2003	Фильтрующий водоем, р. Кровянка	Вход	2,43	2800	85	95	МОСЦГМС (62)
			Выход	0,36	130,0			МОСЦГМС (63)
2	11.02.2004		Вход	0,59	25	58	22	МОСЦГМС (39)
			Выход	0,25	19,5			МОСЦГМС (40)
3	12.09.2006		Вход	0,54	5,4	63	15	РОСА (24285)
			Выход	0,2	4,6			РОСА (24286)
4	02.11.2000	ПК 177+87, "Овраг - рукав", МКАД	Вход	0,84	12,5	27	68	МОСЦГМС (183)
			Выход	0,62	4			МОСЦГМС (184)
5	27.10.1998	МКАД, ПК 955+19	Вход	5,7	702	54	79	МОСВОДОСТОК (353-354)
			Выход	2,63	153,2			
6	11.08.1999	МКАД, ПК 198+25	Вход	3,9	519,2	26	79	МОСВОДОСТОК (246-247)
			Выход	2,9	110			
7	03.11.199	МКАД, ПК 264+90	Вход	2,6	606,8	58	82	МОСВОДОСТОК (103-104)
			Выход	1,1	170,8			
8	24.10.1998	МКАД, ПК 654+65	Вход	3,12	154	90	89	МОСВОДОСТОК (349)
			Выход	0,32	16,2			

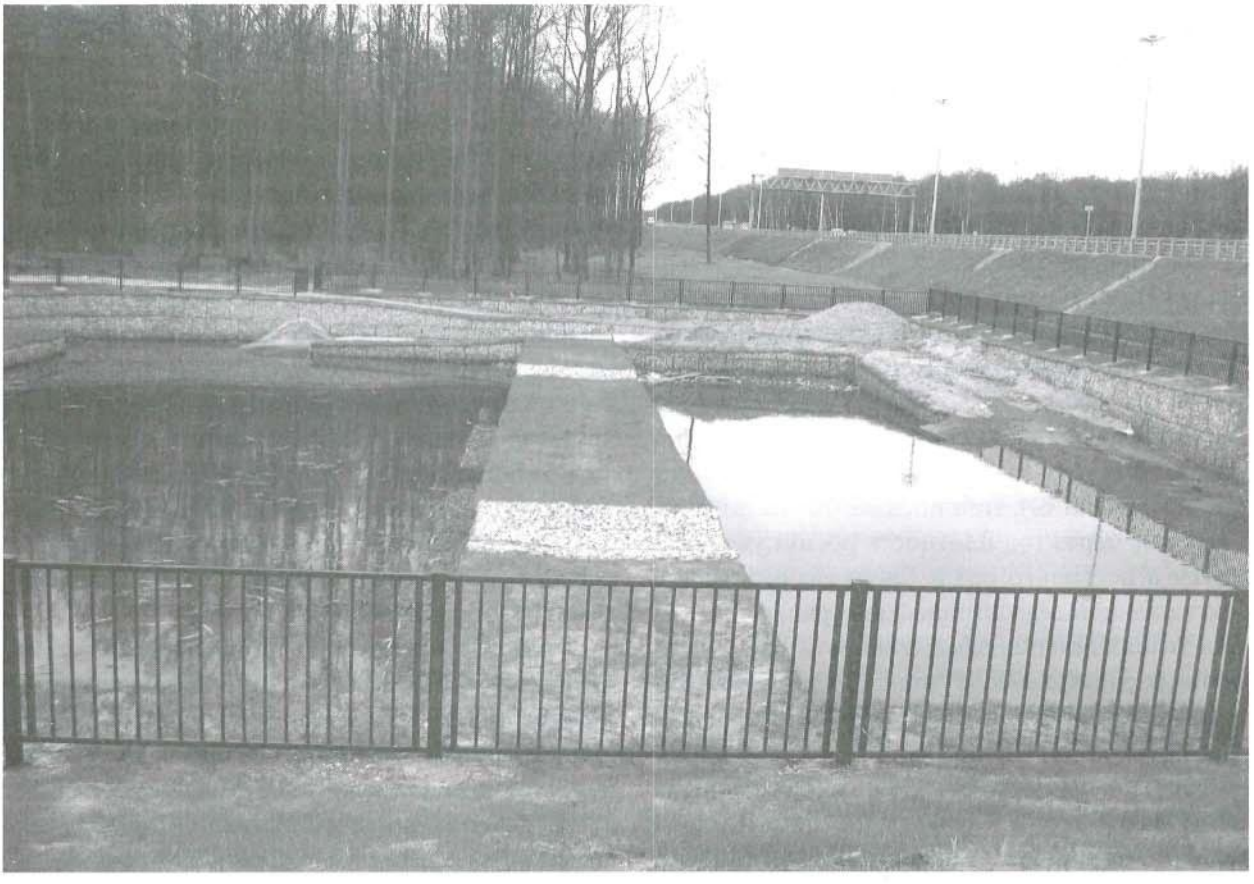


Рис 4. Габионное очистное фильтрующее сооружение (ГОФС) после окончания строительства. Московская обл., Киевское шоссе.

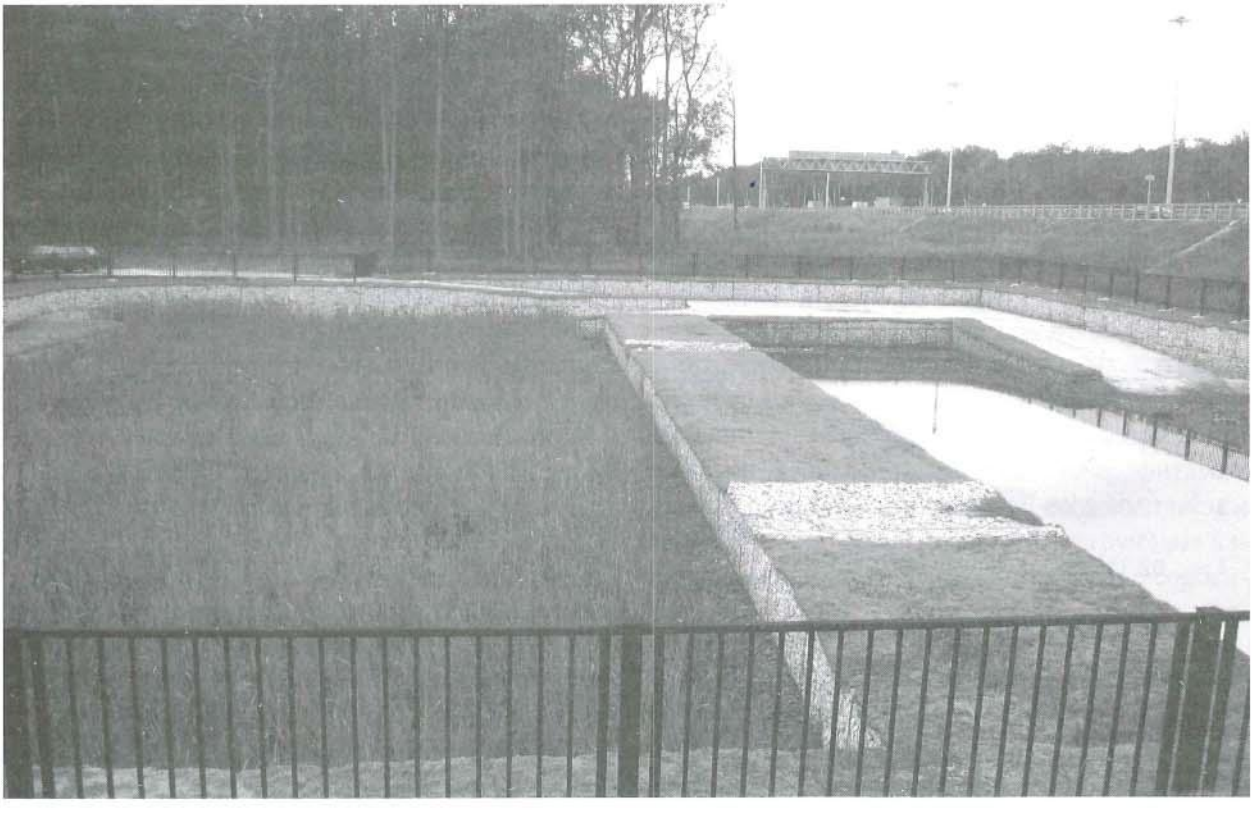


Рис 5. То же сооружение через год.

Построенные габионные ВПФС, наряду с очистными сооружениями промышленного типа позволили значительно снизить загрязнение пересекаемых МКАД водотоков ливнёвыми водами с полотна автодороги, и, кроме того, надежно защитить прилегающую территорию от эрозии.

Водопропускные фильтрующие сооружения для очистки поверхностного стока при сбросе «на рельеф» или в водные объекты культурно-бытового назначения (ВПФС-2)

Габионные сооружения 2-й группы размещаются не в русле постоянных водотоков, а в непосредственной близости к автодороге на участках выхода ливнёвых стоков из систем водоотведения.

Эти сооружения, также как и сооружения 1-й группы, включают в себя габионные водоподводящие лотки и биоплато. Кроме того, дополнительно предусмотрены камеры отстойники, как необходимый элемент любого очистного сооружения. Расчет размеров этих проточных камер проводится на основании принятых в России нормативных документов и рекомендаций [7–9].

В результате поверхностный сток проходит очистку на водоподводящих лотках из матрасов Рено, затем в камерах отстойниках и на биоплато.

Сооружения 2-й группы были построены в основном при реконструкции выездных автодорог: МКАД-Шереметьево, МКАД-Внуково Осташковского шоссе и нескольких федеральных трассах.

В таблице 2 представлены результаты работы ВПФС-2, опробованных в разные годы, в том числе и в 2006 г. Эффективность очистки, по сравнению с ВПФС-1, заметно возросла (60–90%) и в большинстве случаев достигает ПДК вредных веществ для водоемов культурно-бытового назначения.

Для оценки работы этих сооружений, которые практически с момента их строительства не обслуживались, кроме отбора проб на определение взвешенных веществ и нефтепродуктов в нескольких ВПФС были проведены биоиндикация и биотестирование биоплато.

Таблица 2. Содержание загрязняющих веществ на входе и выходе габионных водопропускных фильтрующих сооружений второй группы (ВПФС-2)

№ п/п	Дата	Название объекта	Место отбора пробы	Содержание веществ, мг/л		Эффективность очистки в %		Лаборатория (№ протокола)
				НП	ВВ	НП	ВВ	
1	26.10.2000	ВПФС на ПК 11+23, а/дорога Москва-Шереметьево-2	Вход	8,40	1072,0	94	95	МОСЦГМС (177)
			Выход (из коллектора)	0,52	53,0			МОСЦГМС (179)
2	06.06.2006		Вход	4,9	7,6	99	66	РОСА (24245)
			Выход	<0,05	2,6			РОСА (24246)
4	04.12.2003	ВПФС на ПК 102+55, Осташковское шоссе	Вход	2,92	20,500	93	59	МОСЦГМС (477)
			Выход	0,20	8,5			МОСЦГМС (478)
5	06.09.2006		Вход	2	210	97	98	РОСА (24247)
			Выход	<0,05	4,2			РОСА (24248)
6	03.11.2000	ВПФС на ПК 25+34, Киевское шоссе	Вход (лоток)	4,6	1276	89	96	МОСЦГМС (185)
			Выход (из биоплато)	0,5	53			МОСЦГМС (187)
7	30.10.2002	ВПФС на ПК 14+12 (правая сторона), съезд на д. Румянцево, Киевское шоссе	Вход	2,76	586,0	84	93	МОСЦГМС (280)
			Выход	0,44	42,0			МОСЦГМС (281)

НП — нефтепродукты, ВВ — взвешенные вещества.

Как уже отмечалось, габионные очистные фильтрующие сооружения являются открытыми природоподобными системами. Поэтому для получения объективной картины эффективности их работы логично в качестве дополнительного метода контроля использовать биотестирование и биоиндикацию мелководного водоёма биоплато. Смысл биоиндикации и биотестирования заключается в интегральной оценке вреда, наносимого гидробионтам биоплато, вызываемого суммарным воздействием всех загрязняющих веществ (токсикантов). При этом одновременно оцениваются результаты работы предшествующих ступеней очистки, и собственно состояние биоплато, как одного из элементов (ступеней) очистного сооружения.

Результаты биоиндикации и биотестирования продемонстрировали, в большинстве случаев, высокую степень очистки стоков и соответствие воды из биоплато, требованиям, предъявленным к водоемам рыбохозяйственного назначения.

Кроме того, гидробиологические исследования подтвердили, что в габионных очистных сооружениях активно идут процессы самоочищения, но их интенсивность различна. Из этого следует еще одно преимущество природоподобных систем. Это — возможность увеличения очищающей способности очистных сооружений, путем дополнительного внедрения микроорганизмов вместе с илом из лучших по продуцированию биоплато в «отстающие». Причем, в этом случае можно ожидать многолетнего эффекта.

Этот хорошо известный способ очистки от нефтепродуктов загрязненных вод и грунтов впервые был применен на габионных очистных сооружениях, с контролем результатов, как путем химических анализов, так и биотестирования и биоиндикации.

Габионные очистные фильтрующие сооружения для очистки поверхностного стока перед сбросом его в водоёмы и водотоки рыбохозяйственного назначения (ГОФС)

Габионные очистные сооружения 3-й группы, устраиваются также как и сооружения второй группы на участках выхода ливнёвых стоков из систем водоотведения с водосборной территории (вблизи дорог, населенных пунктов, промышленных зон и т.п.). ГОФС включает в себя 4 ступени очистки: механическую на лотках и в отстойнике, механическую на зернистом фильтре, биологическую на биоплато, физико-химическую на сорбенте.

Также как и для сооружений 1-й и 2-й групп в состав ГОФС входят габионные водоподводящие лотки, камеры-отстойники и биоплато. Кроме того, в состав ГОФС входят две фильтрующие камеры: первая — с зернистой загрузкой, вторая — с сорбентом (рис. 3, вклейка).

Первая фильтрующая камера расположена после камеры-отстойника, она рассчитывается и конструируется так, чтобы обеспечить: 1) нахождение стока в камере-отстойнике не менее суток, 2) дополнительную очистку стока при его фильтрации (боковой или вертикальной) через зернистую загрузку. При этом конструкция фильтра предусматривает минимизацию влияния кольматации на его пропускную способность.

Вторая фильтрующая камера с сорбентом расположена после биоплато. Она обеспечивает доочистку стока на последней ступени, что особенно важно в холодное время года, когда эффективность биологической очистки стоков падает.

Необходимо отметить, что наличие биоплато и в этом случае является обязательным, так как оно в теплый период года снижает нагрузку на сорбент и продлевает срок его службы.

К настоящему времени ГОФСы были спроектированы и построены при реконструкции Киевского, Боровского шоссе, автодороги «Украина» (продолжение Киевского шоссе), участков автодорог «Урал» и «Дон».

В таблице 3 приведены результаты работы габионных очистных фильтрующих сооружений, причем некоторые из них опробовались по несколько раз, в том числе и в осенне-зимний период. Как видно из этой таблицы, и в зимний и в летний период уровень очистки по нефтепродуктам, а в большинстве случаев и по взвешенным веществам не превышает ПДК вредных веществ для водоемов рыбохозяйственного значения.

Десятилетний опыт проектирования, строительства и эксплуатации габионных очистных сооружений выявил ряд важных свойств, которые дают основание считать эти открытые самотёчные, природоподобные сооружения имеющими надёжную перспективу. Это подтверждается, в том числе, увеличением числа организаций проявляющих внимание к проектированию и строительству подобных очистных сооружений ливнёвого стока, как в России, так и за рубежом [10–16].

Необходимо отметить, что несмотря на «неприхотливость» габионных природоподобных очистных сооружений, они нуждаются в периодичном обслуживании. Для этого для каждого

Таблица 3. Содержание загрязняющих веществ на входе и выходе габионных очистных фильтрующих сооружений третьей группы (ГОФС)

№ п/п	Дата	Название объекта	Место отбора пробы	Содержание веществ, мг/л		Эффективность очистки в %		Лаборатория (№ протокола)
				НП	ВВ	НП	ВВ	
1	18.09.2003	р. Сетунь, ГОФС "Б", Киевсое шоссе (ПК 47+00)	Вход	1,04	19,5	91,0	72,0	МОСЦГМС (485)
			Выход	0,23	5,4			МОСЦГМС (487)
2	01.12.2005	ГОФС №1 на подъезде к аэропорту "Внуково-1" (временный)	Вход	7,8	210	97,0	96,0	Роса(21724)
			Выход	0,23	9,2			Роса(21725)
3	01.12.2005	ГОФС №2 на подъезде к аэропорту "Внуково-1" (временный)	Вход	2,2	170	98,0	97,0	Роса(21729)
			Выход	0,057	5,6			Роса(21726)
4	12.10.2006	ГОФС №3, ул. Центральная, пос. Внуково	Вход	9,8	1580	99,9	99,0	ФГУЗ "Центр гигиены и эпидимиологии в городе Москве" (127)
			Выход	<0,01	20			
5	13.10.2006	ГОФС №4, ул. Центральная, пос. Внуково	Вход	8,3	1200	99,9	99,4	
			Выход	<0,01	8			
6	27.10.2005	ГОФС №9, а/д "Украина", Киевское шоссе	Вход	39	490	99,0	93,0	Роса (21421)
			Выход	0,47	35			Роса (21422)
7	01.12.2005		Вход	52	1000	99,9	99,7	Роса (21730)
			Выход	<0,05	2,8			Роса (21732)
8	10.04.2006	ГОФС №15, Боровское шоссе	Вход	3,6	140	99,0	98,0	Роса (22703)
			Выход	<0,05	3			Роса (22708)
9	05.06.2006	ГОФС №4, а/д "Украина", Киевское шоссе	Вход	0,86	18	81,0	45,0	Роса (23338)
			Выход	0,17	10			Роса (23339)
10	22.05.2006	ГОФС №6, а/д "Украина", Киевское шоссе	Вход	2	21	98,0	84,0	Роса (23149)
			Выход	<0,05	3,4			Роса (23153)
11	22.05.2006	ГОФС №7, а/д "Украина", Киевское шоссе	Вход	1,3	22	96,0	70,0	Роса (23150)
			Выход	<0,05	6,6			Роса (23151)
12	10.04.2006	ГОФС №10, а/д "Украина", Киевское шоссе	Вход	49	1260	99,9	99,5	Роса (22710)
			Выход	<0,05	6			Роса (22709)

сооружения разрабатывается регламент обслуживания, который передаётся эксплуатирующей организации. Правильное обслуживание позволяет поддерживать эффективность очистных сооружений на максимальном уровне, что требует, как и любое очистное сооружение, определенных затрат.

Выводы

В процессе разработки методов очистки ливневого стока были созданы, а в дальнейшем и усовершенствованы три группы природоподобных габионных очистных сооружений, основанные на принципе мобилизации процессов самоочищения стоков. Каждая группа имеет свои рамки применения и используется в определенных специфических природных условиях. При этом если на начальном этапе разработок таких сооружений эффективность очистки в ВПФС-1 составляла около 50%, то в настоящее время очистка ливневого стока достигла ПДК вредных веществ для водных объектов, имеющих рыбохозяйственного значения. Кроме того, уже сейчас намечены направления дальнейшего совершенствования этих сооружений.

Габионные водопропускные и очистные фильтрующие сооружения эстетически привлекательны, сочетают одновременно несколько функций: водоотведение, очистку стоков, защиту от эрозии прилегающей территории. Кроме того они быстро проектируются и строятся.

Многочисленные опробования показали, что даже без регулярного обслуживания габионная очистная фильтрующая система продолжает очищать ливневые стоки, на протяжении нескольких лет, не снижая эффективность очистки. К сожалению, при современной организации контроля над работой очистных сооружений и их эксплуатацией это преимущество в России ещё долго будет актуальным.

И здесь обращает на себя внимание очень важное с точки зрения экологической безопасности свойство габионных очистных фильтрующих сооружений — их надежность и безаварийность. То есть, после завершения строительства и подсоединения таких систем к ливневой канализации, эти сооружения нельзя отключить ни при каких обстоятельствах. В то же время из промышленных очистных сооружений, особенно накопительного типа, в случае аварии (например, отключения электричества) возможен сброс грязных стоков в водоем. Конструкция и принцип работы габионных очистных сооружений не допускают возникновения такой ситуации, поскольку основываются на постоянно действующих естественных процессах.

Сегодня при оценке качества сбрасываемых стоков наибольшее внимание уделяется содержанию взвешенных веществ и нефтепродуктов, но в будущем потребуется контролировать и тяжелые металлы, и другие загрязняющие компоненты. В настоящее время известны десятки фильтрующих материалов и сорбентов, способных, согласно заявленным производителем свойствам, очищать ливнестоки от указанных загрязнителей. Однако сочетание стоимости сорбционной емкости, способов регенерации и/или утилизации сорбентов, к сожалению, ещё далеко не оптимальны.

Применение в ГОФС фильтрующих камер для зернистой загрузки и сорбентов обеспечило возможность модификации таких систем за счет использования более совершенных фильтрующих и сорбционных материалов, которые могут появиться в будущем. Но эти материалы и в будущих разработках, всегда будут сочетаться с биоплато, которые обеспечивают надежные преимущества применения инженерно-биологических технологий в очистных сооружениях поверхностного стока.

Литература

1. Родзилер И.Д., Зотов В.М. 1973. Роль высшей водной растительности в самоочищении водоемов // Очистка производственных сточных вод. М. Вып. 5.
2. Эйнор Л.О. 1990. Ботаническая площадка — биоинженерное сооружение для доочистки сточных вод // Водные ресурсы. № 4.
3. Эйнор Л.О. 1992. Макрофиты в экологии водоема. М. РАН Институт водных проблем. 256 с.
4. Карасева Н.Н. 1974. Применение высших водных растений для повышения качества очистки воды // Водоснабжение и сан. Техника. № 4.
5. Морозов Н.В., Петрова Р.Б., Петров Г.Н. 1969. Роль высшей водной растительности в самоочищении рек от нефтяного загрязнения // Гидробиологический журнал. №4 .
6. Морозов Н.В., Торпищева А.В. 1973. Микроорганизмы, окисляющие нефть и нефтепродукты в присутствии высших водных растений // Гидробиологический журнал . № 4.
7. СН 496-77. Временная инструкция по проектированию сооружений для очистки поверхностных сточных вод. Госстрой СССР, 1978.
8. Временные рекомендации по проектированию сооружений для очистки поверхностного стока с территорий промышленных предприятий и расчету условий выпуска его в водные объекты. М., ВНИИ «ВОДГЕО», 1983.
9. Рекомендации по расчету систем сбора, отведения и очистки поверхностного стока с селитебных территорий, площадок предприятий и определению условий выпуска его в водные объекты. М. ФГУП «НИИ ВОДГЕО», 2006.
10. Використання біологічних ставків з вищими водяними рослинами в практиці очищення стічних вод // Інформ бюл. Держбуду. № 4. 2002.
11. Стольберг В.Ф., Ладыженский В.Н., Спирин А.И. 2003. Биоплато — эффективная малозатратая экотехнология очистки сточных вод // Екологія довкілля та безпека життєдіяльності. № 3.
12. Коцарь Е.М. 1999. Инженерные сооружения типа «биоплато» как блок доочистки и водоотведения с неканализованных территорий: Тез. докл. междунар. конф. «Aquaterra», Санкт-Петербург.
13. Диренко А.А., Коцарь Е.М. 2006. Использование высших водных растений в практике очистки сточных вод и поверхностного стока // Сантехника. Отопление. Кондиционирование. №5.
14. Комплексный подход к очистке сточных вод, включающий использование растительных сообществ и УФ-обеззараживания в арктических широтах // 7-й Международный конгресс

«Вода: Экология и Технология» (ЭКВАТЕК-2006)»: Тез. докл. М. 2006.
15. Moshiri, Gerald A. 1993. Constructed wetlands for Water Quality Improvement / Gerald A. Moshiri. Lewis Publishers,
16. Mander U., Jenssen P. D. 2002. Constructed Wetlands for Wastewater Treatment in Cold Climates (Hardcover). Boston Publishing Company.

S.M. Chesalov, O.K. Kalantarov, Yu. A. Lion, M.N. Moisev. **Application of Bioengineering Methods for Purification of Surface Runoff of Gabion Water-Carrying and Clearing Filtering Constructions with a Wetland**

Ten-years-long experience in the application of bioengineering methods for waste management and purification of surface runoff is discussed. Three groups of open self-flowing gabion clearing constructions with a wetland (bioplate) as an obligatory element are described. The long-term exploitation of these constructions proves that they ensure the stormwater purification up to the quality requirements imposed by the MPC standards for water reservoirs used for fishery.