

ВОДОСНАБЖЕНИЕ, КАНАЛИЗАЦИЯ, СТРОИТЕЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ ОХРАНЫ ВОДНЫХ РЕСУРСОВ

WATER SUPPLY, SEWERAGE, BUILDING SYSTEMS OF WATER RESOURCE PROTECTION

Вестник Томского государственного
архитектурно-строительного университета.
2025. Т. 27. № 1. С. 157–171.

ISSN 1607-1859 (для печатной версии)
ISSN 2310-0044 (для электронной версии)

Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo
arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta –
Journal of Construction and Architecture.
2025; 27 (1): 157–171.
Print ISSN 1607-1859
Online ISSN 2310-0044

НАУЧНАЯ СТАТЬЯ

УДК 628.316

DOI: 10.31675/1607-1859-2025-27-1-157-171

EDN: OWMDZZ

ИНЖЕНЕРНО-ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ РАСТЕНИЙ ДЛЯ ОЧИСТКИ ПОВЕРХНОСТНОГО СТОКА ОТ ЗАГРЯЗНЯЮЩИХ ВЕЩЕСТВ

Александра Александровна Князева, Олеся Олеговна Смолина

Новосибирский государственный

архитектурно-строительный университет (Сибстрин),

г. Новосибирск, Россия

Аннотация. Проблема исследования. Увеличение загрязнения поверхностного стока техногенными примесями, повышение их концентрации в сточных водах и аккумуляции в открытых водных источниках.

Актуальность. Очистка дождевых, талых вод биоинженерными сооружениями на территории со сложным рельефом.

Цель исследования. Систематизация и обобщение способов очистки сточных вод с урбанизированных территорий, оценка их эффективности.

Новизна. Структуризация данных по очистке сточных вод. Авторская сравнительная оценка качества очистки поверхностных стоков различными способами: фильтрующие патроны, локальные очистные сооружения, биологическая очистка (биоинженерные сооружения). Оценка применения биоинженерных сооружений на локальных и линейных объектах на основании изученных примеров в России и мире. Разработка авторского экологического паспорта древесно-кустарниковой растительности для очистки дождевых, талых вод.

Задачи:

- 1) оценка качества очистки поверхностных стоков разными санитарно-техническими сооружениями с анализом периодичности эксплуатационных работ;
- 2) анализ отечественного и международного опыта применения биоинженерных сооружений с учетом температурных показателей и грунтов;
- 3) подбор древесно-кустарниковой растительности с высокой степенью очистки поверхностных стоков и широким ареалом произрастания на территории РФ;
- 4) апробация применения биоинженерных сооружений на территории со сложным рельефом: г. Новосибирск, ул. Гусинобродское шоссе и ул. Лазурная.

Методы исследования: теоретически-сравнительный анализ, систематизация, структуризация, моделирование.

Ключевые слова: поверхностный сток, биоинженерные сооружения, очистка, экологический паспорт, отечественный и международный опыт

Для цитирования: Князева А.А., Смолина О.О. Инженерно-экологические аспекты использования растений для очистки поверхностного стока от загрязняющих веществ // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2025. Т. 27. № 1. С. 157–171. DOI: 10.31675/1607-1859-2025-27-1-157-171. EDN: OWMDZZ

ORIGINAL ARTICLE

**ENGINEERING AND ECOLOGICAL ASPECTS
OF PLANTING FOR CONTAMINATED SURFACE
FLOW TREATMENT**

Aleksandra A. Knyazeva, Olesya O. Smolina

*Novosibirsk State University of Architecture and Civil Engineering,
Novosibirsk, Russia*

Abstract. Problem statement: Surface flow contamination with man-made impurities and increase in their concentration in wastewater and accumulation in open water sources.

Purpose: Systematization and generalization of surface flow treatment methods in urbanized areas, their effectiveness evaluation.

Methodology: The comparative analysis of the quality of surface flow treatment in various ways: filtering, local treatment plants, biological treatment (bioengineering facilities).

Research findings: Assessment of the quality of surface flow treatment using sanitary facilities and analysis of operational frequency; Russian and international experience in using bioengineering structures, taking into account temperature parameters and soil; selection of woody and shrubby vegetation with a high degree of surface flow treatment and a wide vegetation area in the Russian Federation; bioengineering structures used on difficult terrain of Novosibirsk, Gusinobrodsky highway and Lazurnaya Street.

Value: Data structuring of surface flow treatment. Application of bioengineering facilities based on the Russia and world experience. Development of the ecological passport of woody and shrubby vegetation for rain and meltwater treatment

Keywords: surface flow, bioengineering facilities, purification, environmental passport, Russian and foreign experience

For citation: Knyazeva A.A., Smolina O.O. Engineering and Ecological Aspects of Planting for Contaminated Surface Flow Treatment. Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta – Journal of Construction and Architecture. 2025; 27 (1): 157–171. DOI: 10.31675/1607-1859-2025-27-1-157-171. EDN: OWMDZZ

В России существует множество территорий со сложным рельефом, что создает значительные трудности для градостроительства и обустройства инженерной инфраструктуры. В основном данные территории никак не благоустроены. В таких условиях строительство и эффективная работа ливневой канализации приобретают огромное значение. Несмотря на многочисленные исследования ученых (И.С. Шукин, А.Г. Мелехин [1], Е.Ю. Зайкова, С.С. Феофанова [2] и др.), на современном этапе развития инженерной инфраструктуры требуется актуализация знаний по очистке ливневых стоков разными методами и оборудованием для эффективной оптимизации распределения трудовой, экономической нагрузки.

Атмосферные сточные воды образуются в процессе выпадения осадков как в жилых районах, так и в местах расположения промышленных предприятий, такие воды называют дождевыми или талыми.

Основным источником загрязнения водного объекта являются сточные воды, образующиеся в городских районах. Проблема особенно актуальна для урбанизированных территорий, где масштабы загрязнения превосходят естественные показатели. Высокая степень водонепроницаемых покрытий приводит к тому, что объем ливневых стоков в городах значительно превышает объем стока в природных условиях, где почва и растительность выполняют функцию естественной фильтрации. Неблагоприятным фактором загрязнения окружающей среды являются поверхностные стоки с автомобильных дорог и городских улиц. В жилых районах в процессе образования атмосферных сточных вод накапливаются различные тяжелые металлы (свинец, цинк, медь, кадмий, хром, железо, алюминий, никель), нефтепродукты, пыль, органические вещества и другие загрязняющие примеси.

По мнению В.С. Дикаревского, Э.Ф. Емлина, содержание этих веществ достигает критических значений, требующих обязательной очистки перед сбросом в водоемы [3].

Влияние рельефа (крутизна склонов, наличие оврагов, низменных участков и водоемов) необходимо учитывать при проектировании ливневой канализации, что требует индивидуального подхода. На крутых склонах следует применять специальные лотки, а также устанавливать дополнительные удерживающие элементы, предотвращающие сползание грунта. В условиях резких перепадов высот требуется террасирование для водоотведения или использование специальных водосбросов. Овраги и другие естественные водотоки требуют укрепления и регулирования стока. Низменные участки являются зонами, которые могут быть подвержены затоплению.

Для решения проблемы загрязнения ливневых стоков в условиях сложного рельефа необходим комплексный подход: применение инновационных очистных сооружений, развитие систем «зеленой инфраструктуры», строительство локальных очистных сооружений, разработка и внедрение систем мониторинга качества ливневых стоков, нормативной базы и повышение экологической ответственности.

Для ливневых стоков используют различные методы очистки сточных вод, в том числе локальные очистные сооружения, биоинженерные сооружения, фильтрующие патроны в зависимости от вида присутствующих в воде загрязнений [4].

В связи с этим была проведена сравнительная оценка качества очистки поверхностных стоков от загрязнений разных санитарно-технических сооружений, результаты представлены в табл. 1.

Таблица 1

Сравнительная оценка качества очистки поверхностных стоков

Table 1

Comparison of the quality of surface flow treatment

Загрязнитель	Локальные очистные сооружения	Биоинженерные сооружения	Фильтрующие патроны
Крупные взвешенные вещества			
Мелкие взвешенные вещества			
Эмульгированные нефтепродукты			
Растворенные нефтепродукты			
Тяжелые металлы			

Примечание.

– высокая (70–100 %); – средняя (40–70 %); – низкая (10–40 %)

В табл. 2 показана периодичность эксплуатационных работ санитарно-технических сооружений.

Таблица 2

Периодичность эксплуатационных работ

Table 2

Frequency of maintenance works

Санитарно-технические сооружения	Перечень работ	Ориентировочная периодичность
Фильтрующий патрон	Проверка засоренности верхней решетки мусором	1 раз в месяц
	Проверка наличия/отсутствия слоя воды над фильтром	1 раз в месяц
	Проверка качества очистки (анализ стоков)	1 раз в 3 месяца
	Очистка верхней решетки фильтра	1 раз в месяц
	Выгрузка мусора из фильтра	1 раз в месяц
	Удаление жидких и твердых загрязнителей из фильтра	1 раз в месяц
	Замена отработанного фильтра	1 раз в год
Локальные очистные сооружения	Диагностика всех узлов и комплектующих	1 раз в год
	Профилактический ремонт	1 раз в год
	Очистка засоренности решетки дробилки	1 раз в месяц
	Очистка нефтеуловителей	2 раза в год
	Очистка резервуаров	1 раз в год
	Очистка фильтров от загрязнений	1 раз в месяц

Окончание табл. 2
End of table 2

Санитарно-технические сооружения	Перечень работ	Ориентировочная периодичность
Биологическая очистка (биоинженерные сооружения)	Высадка растений	1 раз с мая по октябрь
	Прополка	2 раза с мая по октябрь
	Контроль пропускной способности	2 раза с мая по октябрь
	Визуальный осмотр	1 раз с мая по октябрь
	Скашивание фитомассы. Рыхление/замена верхнего фильтрующего слоя	1 раз с мая по октябрь

Одним из практических методов для очистки поверхностного стока с урбанизированных территорий в мировой практике признаны и находят все большее применение биотехнологии. С ростом урбанизации и увеличением площади застроенных территорий проблема загрязнения поверхностного стока становится все более актуальной. За рубежом биоинженерные сооружения относятся к доступным технологиям очистки поверхностного стока, которые сочетают в себе экономичность, эффективность и экологичность. Биотехнологии – это специальные конструкции, использующие природные процессы для очистки сточных вод. К ним относятся такие решения, как биофильтрационные траншеи, дождевые сады, биофильтрационные склоны. Эти сооружения активно используют древесно-кустарниковую растительность, которая помогает очищать загрязненные территории, поглощая различные вещества. Данный подход способствует восстановлению местной экосистемы.

Биофильтрационная (биодренажная) траншея – это искусственная конструкция, представляющая собой углубление в земле, заполненное фильтрующим материалом и засаженное влаголюбивыми растениями. Траншеи имеют трапециевидную форму и глубину до 1 м. Они предназначены для аккумуляции и фильтрации поверхностных стоков, что позволяет использовать их вдоль дорог, парков, парковок [1].

Максимальный продольный уклон фильтрационных траншей не должен превышать 4:1 или 3:1, чтобы предотвратить эрозию почвы. В сложных условиях местности рекомендуется применять террасы со ступенчатым уклоном, что дополнительно защищает почву от смыва. Использование влаголюбивых растений и биофильтрационных траншей способно эффективно очищать сточные воды, обеспечивая значительное снижение уровня загрязняющих веществ [2].

Дождевой сад представляет собой специально спроектированный участок глубиной от 0,5 до 1,0 м, заполненный слоями фильтрующего материала. Данное решение обеспечивает эффективную очистку воды. Наиболее распространенное сочетание – слой щебня крупной фракции внизу (для дренажа), затем слой более мелкого щебня, гравия или песка (для фильтрации), далее идет слой плодородной почвы, где и высаживаются растения. Эти сооружения могут

абсорбировать на 30–40 % больше воды, чем обычный газон, благодаря своей способности задерживать и фильтровать ливневые стоки, что значительно снижает нагрузку на городскую ливневую канализацию. Сбор сточных вод в дождевом саду осуществляется одновременно с их фильтрацией, что позволяет улучшить качество воды, попадающей в грунтовые воды. Дождевые сады не только способствуют очистке воды, но и создают дополнительные зеленые пространства в городах, улучшая микроклимат.

Биофильтрационный склон – это наклонный участок земли, на котором высаживаются различные виды растительности для управления и очистки ливневых стоков. Основная задача такого склона – обеспечить естественную фильтрацию воды, проходящей через него, и минимизировать негативное воздействие на окружающую среду. Оптимальный уклон около 1 % позволяет контролировать скорость движения потока, что важно для предотвращения эрозии почвы. Склоны могут быть засажены дикорастущей растительностью или подобранными растениями с учетом способности очистки сточных вод и микроклимата. Рекомендуемая высота травы – 50–150 мм. Биофильтрационные склоны представляют собой эффективный и экологически чистый способ управления ливневыми стоками, который не только решает проблемы загрязнения воды, но и способствует сохранению природного ландшафта. В условиях растущей урбанизации и изменения климата внедрение таких решений становится необходимым шагом на пути к устойчивому развитию и охране окружающей среды.

Результаты исследования, основанного на анализе опыта использования биоинженерных сооружений в России и за рубежом с учетом температурных показателей, характеристик грунтов и областей применения, представлены в табл. 3.

Таблица 3

Примеры биоинженерных сооружений

Table 3

Bioengineering facilities			
Объект	Местоположение, температурный режим	Грунты	Эффект очистки
Биофильтрационная (биодренажная) канава Область применения: улица, парк, парковка			по металлам (медь, цинк, свинец) – от 50 до 90 % по общему фосфору – 9 % по нитратам – 38 %
Зарубежный опыт			
	США, штат Техас, г. Даллас $T_{\max} = +33,0\text{ }^{\circ}\text{C}$ $T_{\min} = +10,6\text{ }^{\circ}\text{C}$	Глинистые	
	США, штат Орегон $T_{\max} = +26,0\text{ }^{\circ}\text{C}$ $T_{\min} = -1,8\text{ }^{\circ}\text{C}$	Глинистые	

Окончание табл. 3
End of table 3

Объект	Местоположение, температурный режим	Грунты	Эффект очистки	
Отечественный опыт				
	РФ, г. Екатеринбург $T_{\max} = +18,1 \text{ } ^\circ\text{C}$ $T_{\min} = -14,7 \text{ } ^\circ\text{C}$	Дерново-подзолистые	по металлам (медь, цинк, свинец) – от 93 до 98 % по НП – свыше 75 % по общему фосфору – 70–83 % по нитратам – 68–80 % по БПК – 90; по патогенным бактериям – 90 %	
Дождевой сад Область применения: улица, парк, парковка				
Зарубежный опыт				
	США, штат Айова $T_{\max} = +23,0 \text{ } ^\circ\text{C}$ $T_{\min} = -5,3 \text{ } ^\circ\text{C}$	Глинистые		
	Дания, г. Копенгаген $T_{\max} = +21,2 \text{ } ^\circ\text{C}$ $T_{\min} = -1,7 \text{ } ^\circ\text{C}$	Дерново-подзолистые		
Отечественный опыт				
	РФ, Новое Девяткино (пригород Санкт-Петербурга) $T_{\max} = +19,5 \text{ } ^\circ\text{C}$ $T_{\min} = -10,4 \text{ } ^\circ\text{C}$	Суглинки		
	РФ, г. Пермь $T_{\max} = +18,5 \text{ } ^\circ\text{C}$ $T_{\min} = -12,5 \text{ } ^\circ\text{C}$	Дерново-подзолистые		
Биофильтрационный склон Область применения: парк, коллектор				
Зарубежный опыт				
	Япония, г. Токио $T_{\max} = +28,0 \text{ } ^\circ\text{C}$ $T_{\min} = +7,0 \text{ } ^\circ\text{C}$	Глинистые		
Отечественный опыт				
	РФ, г. Москва. р. Нищенка $T_{\max} = +32,0 \text{ } ^\circ\text{C}$ $T_{\min} = -8,0 \text{ } ^\circ\text{C}$	Суглинки		
			по металлам (кадмий, медь, цинк, свинец) – от 50 до 90 % по общему фосфору – 9 % по нитратам – 38 % по биологическому потреблению кислорода (БПК) – 67 %	

Исследования биоинженерных сооружений способствовали изучению параметров растений для высокой степени очистки поверхностных стоков с учетом широкого ареала произрастания на территории РФ, результатом стал разработанный авторский экологический паспорт, представленный в табл. 4, универсальный вид которого был заимствован из исследования [5].

Таблица 4

**Авторский экологический паспорт растений,
способных очищать поверхностный сток**

Table 4

Ecological passport of plants capable of cleaning surface flow

Способность к очистке загрязнения почвы и стоков		1	1	1	1	1	1	2	2	1
Химические элементы: Cu, Al, Pb, Fe, Zn, Mn		2	2	2	1	1	1	1	3	2
Тип насаждения		1, 2, 3	1, 2, 3	1, 2, 3	2	2	1, 2, 3	2	2	2
Фактор времени и антропогенных нагрузок	Жизненный цикл (лет)	30	50	30	15	1–5	50	2	50	2
	Расстояние от тепло-трассы (м)	3–4	2	5–6	5–6	5–6	5–6	5–6	5–6	5–6
	Газоустойчивость	3	1	3	1	1	1	1	2	1
	Засухоустойчивость	–	–	–	+	+	+	+	+	+
	Зимостойкость	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Дополнительные функциональные возможности	Солнцезащита	+	+	+	–	–	–	–	–	–
	Ветрозащита	+	+	+	–	–	–	–	+	–
	Шумозащита	–	–	–	–	–	–	–	–	–
	Пылезащита	+	+	+	–	–	–	–	+	–
Аллелопатия	Данные растения хорошо взаимодействуют друг с другом									
Требования к	плодородию почвы	▲	▲	▲	△	△	△	△	▲	△
	влажности почвы	▽	▽	▽	▽	▽	▽	▽	▽	▽
	составу почвы	▣	▣	▣	▣	▣	▣	▣	▣	▣
	освещению	●	●	●	●	●	●	●	●	●
Темпы роста	тах высота (м)	6	5	5	2	2	1	3,5	2	6
	Корневая система	3	3	3	1	1	1	1	1	1
	Форма кроны	7	4	7	–	–	–	–	–	–
	d кроны тах (м)	6	2,5	15	–	–	–	–	–	–
	тах d ствола (см)	75	200	100	–	–	–	–	–	–
	d ствола в 10 лет (см)	25	30	20	–	–	–	–	–	–
	Высота растения в 10 лет (м)	3	1	3	2	2	0,6	3,5	2	6
	Скорость роста после 10 лет	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑
	Скорость роста до 10 лет	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑

Окончание табл. 4
End of table 4

Происхождение	М	М	М	М	М	М	М	И	М
Жизненная форма	К	К	К	ТР	ТР	ТР	ТР	ТР	ТР
Наименование вида	Ива козья	Ива пепельно-серая	Ива прутовидная	Ирис болотный	Камыш	Осока	Рогоз	Таволга вязолистная	Тростник
<p>Условные обозначения:</p> <p>Жизненная форма: К – кустарник, ТР – травянистое растение.</p> <p>Происхождение: М – местное, И – интродуцент.</p> <p>Скорость роста: ↑ – быстрая.</p> <p>Форма кроны: 1 – колонновидная, 2 – коническая, 3 – пирамидальная, 4 – овальная/округлая, 5 – плакучая, 6 – стелющаяся, 7 – шаровидная, 8 – подушковидная, 9 – вьющаяся лиана.</p> <p>Корневая система: 1 – мочковатая, 2 – стержневая, 3 – поверхностная.</p> <p>Требования к освещению: ○ – гелиофиты, ● – сциофиты, ● – сциогелиофиты.</p> <p>Требования к составу почвы: ☒ – суглинок, ☐ – супесь, ☒ – известняк.</p> <p>Требования к влажности почвы: ▼ – гигрофит, ▼ – мезофит, ▽ – ксерофит.</p> <p>Требования к плодородию почвы: ▲ – эвтроф, ▲ – мезотроф, △ – олиготроф.</p> <p>Зимостойкость: 1 – не промерзает, 2 – подмерзают однолетние побеги.</p> <p>Засухоустойчивость: «+» да, «-» нет.</p> <p>Газоустойчивость: 1 – очень устойчивые, 2 – устойчивые, 3 – относительно устойчивые/неустойчивые.</p> <p>Солнцезащита: «+» да, «-» нет.</p> <p>Ветрозащита: «+» да, «-» нет.</p> <p>Пылезашита: «+» да, «-» нет.</p> <p>Шумозащита: «+» да, «-» нет.</p> <p>Тип насаждения: 1 – солитер, 2 – группа, 3 – рядовая посадка.</p> <p>Очистка от загрязнений: 1 – высокая (70–100 %), 2 – средняя (40–70 %), 3 – низкая (10–40 %).</p> <p>Очищение от химических элементов: 1 – высокая (70–100 %), 2 – средняя (40–70 %), 3 – низкая (10–40 %).</p>									

Выявлено, что ряд следующих растений: камыш, осока, рогоз, тростник, разновидности ив, ирис болотный, таволга вязолистная – обладают высокой степенью очистки поверхностных стоков.

Камыш выступает в роли «биофильтра». Его уникальная способность заключается в абсорбции различных органических соединений, включая фенолы, анилины и нефтепродукты. Результаты исследования [6] показали, что 300 г фитомассы камыша способны очистить 5 л воды от фенола за разный период времени в зависимости от начальной концентрации: 10 мг/л – за 4 дня, 40 мг/л – за 12 дней, 100 мг/л – за 29 дней. Помимо фенола камыш эффективно удаляет ксилолы и пирокатехины. Важно отметить, что эффективность очистки зависит от многих факторов, включая плотность посадки, состав почвы и окружающую среду.

Осока применяется для удаления тяжелых металлов и нефтепродуктов из окружающей среды. Способность осоки накапливать в своих тканях эти веще-

ства делает ее перспективной для использования в системах фиторемедиации загрязненных почв и вод. Например, осока демонстрирует значительную способность к накоплению меди (Cu – 0,055 мг/кг) [7]. Однако необходимо учитывать особенности накопления, избыточное количество тяжелых металлов может негативно повлиять на само растение.

Исследования показали, что корневая структура рогоза обладает способностью накапливать химические элементы. Результаты анализа корневой системы рогоза, произраставшего вблизи теплоэлектростанций, показали, что содержание металлов в корнях составило: железа – 199,1 мг/кг, марганца – 159,5 мг/кг, меди – 3,4 мг/кг, цинка – 16,6 мг/кг [8]. Эти данные свидетельствуют о высокой эффективности рогоза в качестве биосорбента, способного извлекать тяжелые металлы из почвы.

Разновидности ивы используют для очистки от загрязнения антропогенными примесями, также наблюдалась аккумуляция тяжелых металлов в первичной коре и ксилеме стебля.

Ирис болотный и тростник проявляют высокую эффективность в очистке воды от органических и неорганических частиц. Средние значения концентрации металлов, накопленных ирисом болотным за месяц, составили: медь – 8,33 мг/кг, алюминий – 4,39 мг/кг, свинец – 2,83 мг/кг, железо – 7,77 мг/кг, цинк – 10,93 мг/кг [9]. Для тростника эти показатели несколько ниже: медь – 2,00 мг/кг, алюминий – 2,85 мг/кг, свинец – 0,58 мг/кг, железо – 7,67 мг/кг, цинк – 2,97 мг/кг [9]. Разница в накоплении металлов может быть обусловлена различными физиологическими особенностями этих растений, а также условиями произрастания.

Таволга вязолистная помогает задерживать сточные воды за счет развитой корневой системы, снижает скорость поверхностного стока и предотвращает заиливание. Высокая активность к накоплению микроэлементов (Cu, Zn, Ba). Запас минеральных веществ – 3 ц/га при фитомассе до 50 ц/га [10].

Исследования подтверждают значительный потенциал фиторемедиации в очистке загрязненных территорий. Дальнейшие работы в этой области необходимы для оптимизации фиторемедиации и расширения списка эффективных растений, что позволит создать экологически чистые и эффективные технологии очистки окружающей среды. Важно также учитывать видовое разнообразие, условия произрастания и специфические характеристики накопления металлов у каждого растения для достижения результатов.

Результаты

В качестве апробации полученных результатов исследования рассмотрим территорию со сложным рельефом в г. Новосибирске: ул. Гусинобродское шоссе и ул. Лазурная. На основании топографической съемки местности в программном комплексе Civil 3D была создана цифровая авторская модель рельефа (рис. 1) для наглядной демонстрации поверхности участка.

Проектирование ландшафта на сложных рельефах требует комплексного подхода, учитывающего не только эстетическую составляющую, но и экологическую безопасность. Неправильные решения могут стать источником эрозии почвы и загрязнения водоемов. Использование растений позволяет решить эти проблемы эффективно и презентабельно.

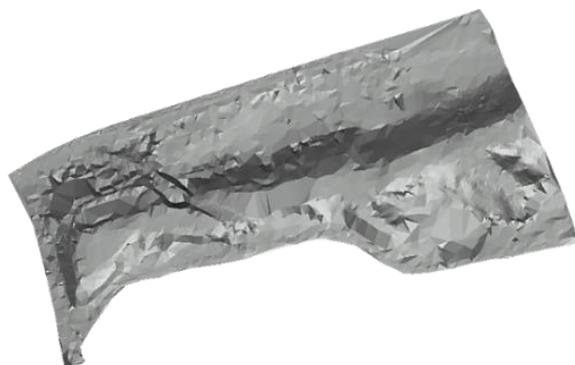


Рис. 1. Авторская модель рельефа, выполненная в Civil 3D

Fig. 1. Civil 3D-based model of surface geometry

После изучения выбранной территории были разработаны две схемы посадки древесно-кустарниковой растительности с учетом естественного рельефа, которые можно использовать для данного участка.

В схеме на рис. 2 предлагается создание комбинированной системы, состоящей из фильтрационного склона и дождевого сада. Основная идея – использовать древесно-кустарниковую растительность для естественной очистки сточных вод от загрязнений. Поверхностные воды, стекая по склону, проходят через специально подобранные растения, которые поглощают загрязняющие вещества. Дождевой сад, расположенный в нижней части склона, дополнительно аккумулирует и фильтрует воду.

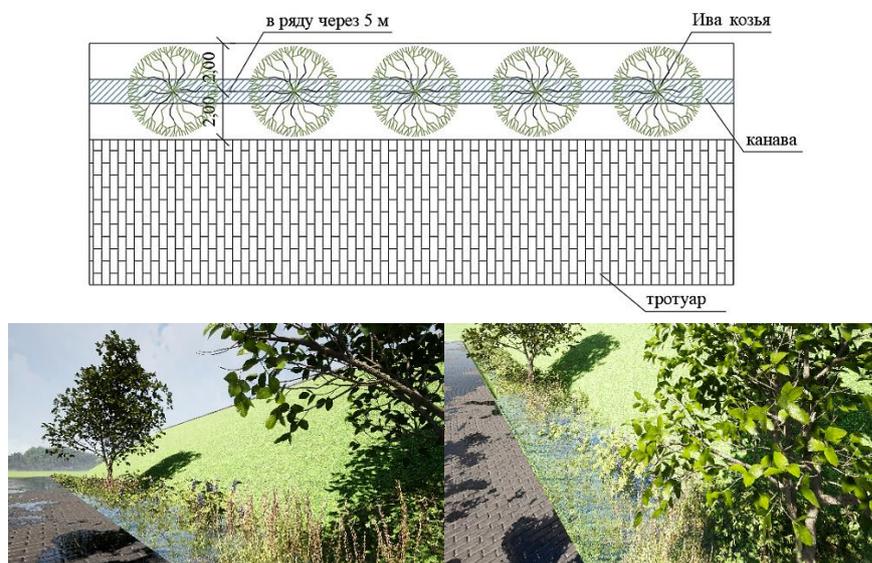


Рис. 2. Схема и визуализация размещения деревьев при устройстве дождевого сада на сложном рельефе

Fig. 2. Schematic and visualization of planting for rain gardening on difficult terrain

В данной схеме предлагается посадка ив в ряду через 5 м. Ивы обладают мощной корневой системой, которая укрепляет почву. Между ними размещаются влаголюбивые растения, выполняющие функцию очистки: камыш, тростник, ирис. Важно отметить, что эффективная работа фильтрационного склона зависит от правильного выбора грунта. Необходимо использовать почву с хорошей водопроницаемостью и дренажом, чтобы предотвратить застой воды. Следует также предусмотреть систему дренажных каналов для отвода избытка воды.

На рис. 3 представлена схема, которая направлена на укрепление склона и предотвращение эрозии почвы. Основным элементом данной схемы является сосна, корневая система которой прочно связывает почву, препятствуя ее смыву. А ива предназначена для очистки сточных вод.

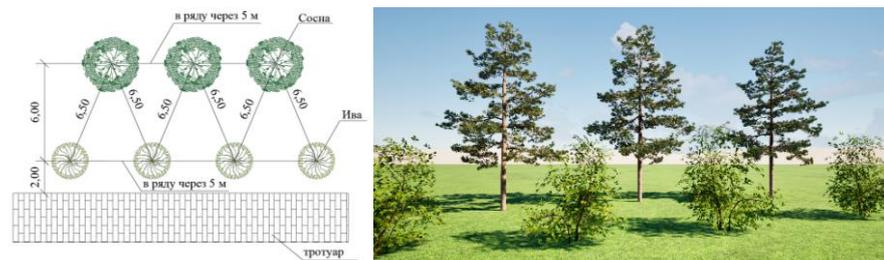


Рис. 3. Схема и визуализация размещения деревьев на выбранном участке
Fig. 3. Schematic and visualization of planting on selected terrain

Обе представленные схемы являются эффективными решениями для укрепления склонов и очистки поверхностных стоков. Выбор оптимальной схемы зависит от конкретных условий участка и поставленных задач.

Выводы

Биоинженерные сооружения предлагают инновационное и экологически чистое решение. Сравнительный анализ различных санитарно-технических сооружений показал, что биоинженерные системы превосходят стандартные методы по некоторым параметрам. Они не только эффективно снижают экологический риск, но и соответствуют современным требованиям к качеству очистки дождевых и талых вод. Преимуществом биоинженерных сооружений является их способность обеспечить комплексную защиту территории от избытка вод. Они выполняют не только функцию очистки, но и регулируют водный баланс, предотвращая эрозию почвы. Это особенно важно для участков со сложными градостроительными условиями. В таких местах стандартные системы очистки являются нецелесообразными.

Исследование выявило ряд растений, обладающих высокой степенью очистки сточных вод. Выбор конкретных видов растений зависит от климатических условий, типа почвы и степени загрязнения стоков. Разработанный экологический паспорт древесно-кустарниковой растительности является важным инструментом для оценки потенциала различных видов и выбора оптимальных вариантов для конкретных условий. Он позволяет оптимизировать выбор растений для достижения максимальной эффективности очистки в разных условиях.

Важно отметить, что эффективность очистки непосредственно связана с правильно подобранной растительностью. В исследовании были рассмотрены типовые способы посадки древесно-кустарниковой растительности с учетом сложного рельефа. Исследования должны быть направлены на изучение взаимодействия растений с различными загрязнителями.

Однако эффективность биоинженерных сооружений зависит не только от выбора растений и способа посадки, но и от правильного проектирования всей территории. Необходимо учитывать такие факторы, как объем, скорость стока, состав загрязнений, гидрологические условия и т. д. Это позволит оптимизировать конструкции биоинженерных сооружений и разработку рекомендаций по их применению в различных местностях.

Дальнейшие исследования в этой области, включая работу над магистерской диссертацией, направлены на усовершенствование существующих технологий и разработку новых, более эффективных методов очистки, что позволит обеспечить экологическую безопасность и сохранение природных ресурсов. Помимо этого, будут проведены исследования по экономической эффективности биоинженерных систем очистки сточных вод по сравнению с традиционными методами.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Мелехин А.Г., Шукин И.С. Анализ существующих биоинженерных сооружений очистки поверхностного стока и возможности их применения в условиях Западного Урала // Вестник ПНИПУ. Строительство и архитектура. 2013. № 2. С. 40–51. EDN: RBQSGB
2. Зайкова Е.Ю., Феофанова С.С. Зеленая инфраструктура как инструмент управления ливневыми водами // Вестник МГСУ. 2022. Т. 17. № 11. С. 1429–1452. DOI: 10.22227/1997-0935.2022.11.1429-1452
3. Дикаревский В.С., Курганов А.М., Нечаев А.П., Алексеев М.И. Отведение и очистка поверхностных сточных вод. Ленинград : Стройиздат. Ленингр. отделение, 1990. 224 с.
4. Мадыхов Р.М., Хафизов Э.Р. Применение фильтрующих патронов для очистки поверхностных стоков с городских улиц // Техника и технология транспорта. 2020. № 2. С. 19. EDN: ХАКJДZ
5. Савчук Д.Ю., Смолина О.О. Особенности разработки и аспекты применения экологического паспорта природопользования на основе разновидностей древесно-кустарниковых пород для озеленения города Новосибирска // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2024. Т. 26. № 1. С. 83–95. DOI: 10.31675/1607-1859-2024-26-1-83-95
6. Диренко А.А., Коцарь Е.М. Использование высших водных растений в практике очистки сточных вод и поверхностного стока // ГК «ПРОФ-ВОДООЧИСТКА. URL: <https://profvodochistka.ru/info/ispolzovanie-vyshshikh-vodnykh-rastenij-v-praktike-ochistki-stochnykh-vod-i-poverkhnostnogo-stoka?ysclid=m2od4bceap115488001> (дата обращения: 25.10.2024).
7. Глекнер А.А. Очистка почв от меди при помощи осоки большехвостой // Молодежь и наука : сборник материалов X Юбилейной Всероссийской научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых с международным участием, посвященной 80-летию образования Красноярского края. Красноярск : Сибирский федеральный ун-т, 2014. URL: <http://conf.sfu-kras.ru/sites/mn2014/directions.html>
8. Латин А.А., Поталов В.В., Калайда М.Л., Мурадов С.В., Зеленков В.Н. Очистка воды от загрязнений водными растениями // Бултеровские сообщения. 2012. Т. 31. № 7. С. 85–92.
9. Шукин И.С. Очистка поверхностных сточных вод с применением фиточисток : специальность 05.23.04 : автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук. Пермь, 2019. 23 с.

10. Авессаломова И.А. Латеральные биогеохимические барьеры в агроландшафтах (на примере среднетаежной подзоны Восточно-Европейской равнины) // Современные проблемы ландшафтоведения и геоэкологии : материалы V Международной научной конференции. Минск, 2014. С. 176–178.

REFERENCES

1. Melekhin A.G., Shchukin I.S. Analysis of Existing Bioengineering Structures for Surface Flow Treatment and Their Application in the Western Urals. *Vestnik PNIU. Stroitel'stvo i arkhitektura*. 2013; (2): 3. EDN: RBQSGB (In Russian)
2. Zaykova E.Yu., Feofanova S.S. Green Infrastructure as a Tool for Stormwater Management. *Vestnik MGSU*. 2022; 17 (11): 1439. DOI: 10.22227/1997-0935.2022.11.1429-1452 (In Russian)
3. Dikarevsky V.S., Kurganov A.M., Nechaev A.P., Alekseev M.I. Surface Wastewater Disposal and Treatment. Leningrad: Stroyizdat, 1990. 224 p. (In Russian)
4. Madykhov R.M., Hafizov E.R. Filter Cartridges for Cleaning Surface Flows in City Streets. *Tekhnika i tekhnologiya transporta*. 2020; (2): 19. EDN: XAKJDZ (In Russian)
5. Savchuk D.Yu., Smolina O.O. Vestnik Environmental Passport of Hardy-Shrub Species for Novosibirsk Landscaping: Development and Application. *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta – Journal of Construction and Architecture*. 2024; 26 (1): 83–95. DOI: 10.31675/1607-1859-2024-26-1-83-95 (In Russian)
6. Direnko A.A., Kotsar E.M. Higher aquatic plants in wastewater and surface flow treatment. Available: <https://prof-vodochistka.ru/info/ispolzovanie-vysshikh-vodnykh-rastenij-v-praktike-ochistki-stochnykh-vod-i-poverkhnostnogo-stoka?ysclid=m2od4bceap115488001> (accessed October 25, 2024). (In Russian)
7. Gloeckner A.A. Soil Purification from Copper using Carex Major-Tailed. In: *Proc. 10th All-Russ. Sci. Conf. 'The Youth and Science'*. Krasnoyarsk, 2014. Available: <http://conf.sfu-kras.ru/sites/mn2014/directions.html> (accessed October 25, 2024). (In Russian)
8. Lapin A.A., Potapov V.V., Kalayda M.L., Muradov S.V., Zelenkov V.N. Water Purification of from Aquatic Plant Contamination. *Butlerovskie soobshcheniya*. 2012; 31 (7): 85–92. (In Russian)
9. Shchukin I.S. Surface Flow Treatment with phytofilters. PhD Abstract. Perm, 2019. 23 p. (In Russian)
10. Avessalomova I.A. Lateral Biogeochemical Barriers in Agrolandscapes in the East European Plain. In: *Proc. 5th Int. Conf. 'Modern Problems of Landscaping and Geoecology'*. Minsk, 2014. Pp. 176–178. (In Russian)

Сведения об авторах

Князева Александра Александровна, магистрант, Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет (Сибстрин), 630008, г. Новосибирск, ул. Ленинградская, 113, aleksandra_knyazeva@mail.ru

Смолина Олеся Олеговна, канд. архитектуры, доцент, Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет (Сибстрин), 630008, г. Новосибирск, ул. Ленинградская, 113, zelenoest-vo@mail.ru

Authors Details

Aleksandra A. Knyazeva, Undergraduate Student, Novosibirsk State University of Architecture and Civil Engineering, 113, Leningradskaya Str., 630008, Novosibirsk, Russia, aleksandra_knyazeva@mail.ru

Olesya O. Smolina, PhD, A/Professor, Novosibirsk State University of Architecture and Civil Engineering, 113, Leningradskaya Str., 630008, Novosibirsk, Russia, zelenoest-vo@mail.ru

Вклад авторов

Князева А.А. – концепция исследования, сбор и обработка материала, написание статьи.

Смолина О.О. – научное руководство и редактирование текста.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Authors contributions

Knyazeva A.A.: conceptualization, data curation, collection and processing, writing – original draft preparation.

Smolina O.O.: supervision and editing the manuscript.

The authors declare no conflicts of interests.

Статья поступила в редакцию 12.12.2024

Одобрена после рецензирования 24.12.2024

Принята к публикации 13.01.2025

Submitted for publication 12.12.2024

Approved after review 24.12.2024

Accepted for publication 13.01.2025