

**ЛЕСОВЕДЕНИЕ, ЛЕСОВОДСТВО, ЛЕСНЫЕ КУЛЬТУРЫ, АГРОЛЕСОМЕЛИОРАЦИЯ, ОЗЕЛЕНЕНИЕ,
ЛЕСНАЯ ПИРОЛОГИЯ И ТАКСАЦИЯ/FORESTRY, FORESTRY, FOREST CROPS, AGROFORESTRY,
LANDSCAPING, FOREST PYROLOGY AND TAXATION**

DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2025.157.9>

**АНАЛИЗ ВИДОВ ПРИБРЕЖНО-ВОДНЫХ РАСТЕНИЙ Г. ЕКАТЕРИНБУРГА ДЛЯ ФИТОРЕМИДИАЦИИ НА
ПРИМЕРЕ ДОЖДЕВОГО САДА**

Обзор

Кайзер Н.В.^{1,*}, Фролова Т.И.², Галиуллина З.Д.³

¹ ORCID : 0000-0002-2297-8195;

² ORCID : 0000-0003-3199-3159;

³ ORCID : 0009-0001-2769-5311;

^{1, 2, 3} Уральский государственный лесотехнический университет, Екатеринбург, Российская Федерация

* Корреспондирующий автор (kaiser_nv[at]yahoo.com)

Аннотация

Статья посвящена исследованию потенциала травянистых прибрежно-водных растений для фиторемедиации и для регулирования ливневыми потоками в урбанизированной среде и возможности вторичного использования очищенной воды для полива. В условиях риска затопления городских территорий в результате осадков, а также значительного антропогенного загрязнения применение травянистых прибрежно-водных растений становится актуальным решением для улучшения экологической обстановки в урбанизированной среде.

«Зеленые» технологии, подходящие для фиторемедиации, могут быть использованы не только для очистки загрязненных поверхностных ливневых вод, но и для формирования эстетического восприятия городской среды, что позволяет рассматривать прибрежно-водные растения как ценный природный компонент в современном городском ландшафтном дизайне. Дождевой (ливневый) сад, биоплато — это современные биоинженерные технологии, сочетающие в своих процессах функцию экологическую: выполняет фиторемедиацию и создает на территории устойчивые фитоценозы, а также аттрактивную составляющую городского ландшафтного дизайна. Технология дождевого сада проявляется в антропогенных флюктуациях, в непосредственном воздействии человека на акваторию посредством прибрежно-водных растений, используемых для очистки или аккумуляции излишнего объема воды. В этом случае ассортимент растений должен быть основан на местной прибрежно-водной флоре, адаптированной к специфическим климатическим условиям.

В рекомендуемый список прибрежно-водных растений для устройства дождевого сада на Среднем Урале должны быть включены зимостойкие устойчивые виды. Произрастающие в окрестностях г. Екатеринбурга уникальные прибрежно-водные растения создают возможности адаптации местной флоры для специфических задач фиторемедиации. Кроме того, предлагаемый ассортимент питомников декоративных травянистых видов растений, сортов для водоемов и прибрежной зоны способствует значительному расширению возможности по формированию растительного разнообразия и экологического равновесия в городской среде.

На основе собранных данных удалось выделить виды прибрежно-водных растений в г. Екатеринбурге для внедрения технологии дождевого сада: рекомендуется 26 видов прибрежно-водных растений, способных расти и развиваться в воде, водопокрытого грунта и в прибрежной зоне.

В статье подчеркивается необходимость мониторинга прибрежно-водных растений дождевых садов на Урале и дальнейших исследований их потенциала, эффективности их использования в контейнерах в различных экологических проектах. Широко распространенные и адаптированные к различным климатическим и почвенным условиям прибрежно-водные растения, обладающие высокой устойчивостью к условиям городской среды, могут быть универсальными с точки зрения применения их в разных регионах.

Ключевые слова: дождевой сад, фиторемедиация, прибрежно-водные растения, городской ландшафтный дизайн, урбанизированная среда.

**ANALYSIS OF COASTAL AQUATIC PLANT SPECIES OF YEKATERINBURG FOR PHYTOREMEDIATION ON
THE EXAMPLE OF A RAIN GARDEN**

Review article

Kaizer N.V.^{1,*}, Frolova T.I.², Galiullina Z.D.³

¹ ORCID : 0000-0002-2297-8195;

² ORCID : 0000-0003-3199-3159;

³ ORCID : 0009-0001-2769-5311;

^{1, 2, 3} Ural State Forest Engineering University, Ekaterinburg, Russian Federation

* Corresponding author (kaiser_nv[at]yahoo.com)

Abstract

The article is devoted to the study of the potential of herbaceous coastal aquatic plants for phytoremediation and for regulation of storm flows in the urbanised environment and the possibility of secondary use of treated water for irrigation. In conditions of risk of flooding of urban areas as a result of precipitation, as well as significant anthropogenic pollution, the use

of herbaceous coastal aquatic plants becomes a relevant solution to improve the ecological situation in the urbanised environment.

'Green' technologies suitable for phytoremediation can be used not only for the treatment of polluted surface storm water, but also for the shaping of the aesthetic perception of the urban environment, which allows to regard coastal-water plants as a valuable natural component in modern urban landscape design. Rain (storm) garden, bioplato is a modern bioengineering technology that combines in its processes the ecological function: it performs phytoremediation and creates sustainable phytocenoses on the territory, as well as an attractive component of urban landscape design. Rain garden technology is manifested in anthropogenic fluctuations, in the direct human impact on the water area by means of coastal aquatic plants used for purification or accumulation of excessive water volume. In this case, the plant assortment should be based on local coastal aquatic flora adapted to specific climatic conditions.

The recommended list of coastal aquatic plants for a rain garden in the Middle Urals should include winter-resistant species. The unique coastal aquatic plants growing in the vicinity of Yekaterinburg create opportunities for adaptation of local flora for specific phytoremediation tasks. In addition, the proposed range of nursery stock of ornamental herbaceous plant species, varieties for water bodies and coastal zone contributes to a significant expansion of opportunities for the formation of plant diversity and ecological balance in the urban environment.

Based on the collected data, it was possible to identify species of coastal aquatic plants in Yekaterinburg for the introduction of rain garden technology: 26 species of coastal aquatic plants capable of growing and developing in water, water-covered ground and in the coastal zone are recommended.

The article emphasises the necessity of monitoring coastal aquatic plants of rain gardens in the Urals and further studies of their potential, efficiency of their use in containers in various environmental projects. Widespread and adapted to various climatic and soil conditions, coastal aquatic plants with high tolerance to urban environment can be universal in terms of their application in different regions.

Keywords: rain garden, phytoremediation, coastal aquatic plants, urban landscape design, urbanised environment.

Введение

В условиях реализации новых стратегий территориально-пространственного развития городов [1] необходим не только поиск новых проектных решений, но и внедрение инновационных технологий восстановления природных ресурсов для формирования устойчивой среды [2].

Как показано во многих отечественных исследованиях, на фоне возникающих экологических проблем, связанных с повышающимся уровнем загрязненности урбанизированной среды, в том числе от ливневых потоков, эффективным способом регулирования поверхностного стока, сохранения и восстановления биоразнообразия может выступать биоинженерное сооружение «дождевой сад» на основе технологии фиторемедиации [3], [4], [7], [8]. Фиторемедиация представляет собой современную технологию применения растений для очистки окружающей среды от загрязняющих веществ, таких как тяжелые металлы, нефтепродукты и токсичные соединения [7]. В условиях городской среды, где уровень отдельных видов загрязнений окружающей среды (согласно Государственного доклада Правительства Свердловской области «О состоянии окружающей среды на территории Свердловской области в 2023 году») значительно высок, использование декоративных водных растений для фиторемедиации становится не только экологически целесообразным, но и эстетически привлекательным ландшафтным решением в отношении проектирования водных объектов [2].

Дождевой сад рассматривается как альтернативная технология биодренажной системы и регулируемого отвода поверхностных вод, посредством их накопления, испарения, фильтрации через растительность, выдерживающую затопление [3], [4], [6]. Комплекс природных компонентов (растительность, вода, песок, мульча и др.), обеспечивающих технологические процессы дождевого сада, способствует сохранению экологического баланса [3], и, кроме того, направлен на совершенствование мер городского управления, на «оптимизацию расходов городского бюджета на решение вопросов водоотведения, озеленения, полива» [4, С. 4]. Так, отфильтрованная, прошедшая систему био-очистки [9], вода может использоваться для полива городских зеленых насаждений. Система дождевого сада может состоять из одного или нескольких биоинженерных сооружений, может включать «каскады дождевых садов, реже водно-болотные угодья или задерживающие бассейны» [6, С. 72].

Прибрежно-водные растения способствуют улучшению качества воздуха, стабилизируют почву, предотвращают ее эрозию [6], аккумулируют вредные вещества [3], [4], насыщают воду кислородом [7] одновременно создают эстетически привлекательные озелененные пространства во взаимодействии водных компонентов среды.

В данной статье рассматривается возможность применения травянистых прибрежно-водных растений для фиторемедиации в г. Екатеринбурге, с учетом такой характеристики, как декоративность вида в условиях реализации ландшафтного дизайна водных объектов урбанизированной среды.

Целью работы является подбор ассортимента декоративных прибрежно-водных растений, подходящих для проектирования дождевого сада и применяемых в качестве природных фитофильтров.

В задачи исследования входит следующее:

- осуществить обзор прибрежно-водных растений, применяемых для фиторемедиации в городских условиях;
- выявить ассортимент декоративных прибрежно-водных растений с учетом их встречаемости в условиях Среднего Урала;
- выявить наиболее адаптивные и широко используемые виды, применяемые для целей фиторемедиации в городских условиях.

Методы и принципы исследования

Методы исследования основаны на сборе и анализе литературных данных по вопросам фиторемедиации в городской среде, наблюдений по распространению редких прибрежно-водных растений, а также анализе прибрежно-

водных растений в питомниках. Все собранные данные систематизируются, исходя из возможности их применения при проектировании дождевого сада.

Основные результаты

Антропогенная деятельность является основным источником загрязнения окружающей среды металлами, загрязняющим как почву, так и водные объекты [10]. В результате многолетнего мониторинга загрязнения почв г. Екатеринбурга тяжелыми металлами (такими как медь, свинец, цинк, кадмий, никель) характеризуется величиной суммарного индекса загрязнения Zc по разным районам от 10,1 до 6,8, что в целом оценивается как допустимый уровень загрязнения. Наиболее загрязненным являлся Октябрьский район [11].

Поступающие с атмосферными выбросами тяжелые металлы накапливаются в верхнем слое почвы, а также загрязняют поверхностные и грунтовые воды [12]. Экологически безопасные биологические методы ремедиации почв и водных объектов становятся предметом интенсивных исследований в мировом научном сообществе. Фиторемедиация — один из таких методов, основанный на применении растений [13]. Использование фиторемедиации для очистки почв и воды от тяжелых металлов особенно эффективно благодаря их поверхностной концентрации в верхних почвенных горизонтах и в водной толще. Ограничение проникновение загрязнителей вглубь почвы и их относительно высокая концентрация в поверхностных слоях значительно упрощает процесс восстановления загрязненных земель и воды [10]. В отличие от методов, основанных на применении химических реагентов, использование растений представляет собой экологически безопасный способ повышения мобильности тяжелых металлов, минуя риски дополнительного загрязнения окружающей среды [7], [8].

В г. Екатеринбурге влияние автотранспорта и промышленности приводит к высоким уровням загрязнения: основные загрязнители включают тяжелые металлы, такие как свинец и кадмий; загрязнители воздуха — углеводороды. Зимы холодные, что ограничивает возможности круглогодичного использования растений для фиторемедиации, особенно прибрежно-водных растений. Однако некоторые прибрежно-водные растения способны выдерживать местные суровые климатические условия, это — травянистые многолетники астрагал болотный, кувшинка чисто-белая и четырехгранная, кубышка малая и желтая, рдест красноватый [14]. Наличие эндемичных, субэндемичных растений или близких к эндемикам свидетельствует об уникальности местной флоры и ее высоком потенциале для применения в экологических проектах. Среди эндемиков влажных мест для Урала отмечен гусиный лук Лиотарда или гусиный лук ненецкий (*Gagea liotardii* (Sternb.) Schult. & Schult. f. (семейство *Liliaceae*)) — луковичный травянистый многолетний, который может произрастать во влажных пойменных лугах, в сырьих луговых ложбинах с выходами родников, на переувлажненных участках у подножия склонов речных долин» [15, С. 236]. Кроме того, эндемики Урала — ветреница уральская (*Anemone uralensis* Fisch. ex DC. (семейство *Ranunculaceae*)), и стержнекорневой полукустарничек лаготис уральский (*Lagotis uralensis* Schischk. (семейство *Scrophulariaceae*)), которые могут произрастать по берегам рек, во влажных местах [15].

Условия г. Екатеринбурга позволяют выращивать растения, устойчивые к умеренно низким температурам, например, такие как Аир болотный. Екатеринбург расположен в зоне морозостойкости 3–4, где средняя температура января — 14,7°C, могут отмечаться морозы до -40°C. Средняя за год сумма осадков 600 мм. Такие суровые условия ограничивают ассортимент прибрежно-водных растений, для устройства дождевого сада необходимы наиболее морозоустойчивые виды, например, Омежник водный, Рогоз узколистный, Сусак зонтичный. В результате анализа прибрежно-водных растений, условно рекомендуемых для устройства дождевого сада в условиях г. Екатеринбурга был составлен список видов, приведенный в Таблице 1.

Таблица 1 - Рекомендуемый список прибрежно-водных растений для устройства дождевых садов в Екатеринбурге

DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2025.157.9.1>

№ п/п	Семейство	Вид	
		Латинское название	Русскоязычное название
		Экотип: Гидрофиты	
1	Trapaceae Dumort.	<i>Trapa natans</i> L.	Рогульник плавающий
2	Ceratophyllaceae	<i>Ceratophyllum demersum</i> L.	Роголистник погруженный
3	Menyanthaceae	<i>Nymphoides peltata</i> (S. G. Gmel.) Kuntze	Болотноцветник щитолистный
4	Nymphaeaceae	<i>Nuphar lutea</i> (L.) Sm.	Кубышка жёлтая
5		<i>Nuphar pumila</i> (Timm) DC.	Кубышка малая
6		<i>Nymphaea tetragona</i> G eorgi	Кувшинка четырёхгранная
7	Potamogetonaceae	<i>Potamogeton rutilus</i> W olfg	Рдест красноватый
8	Polygonaceae	<i>Persicaria amphibia</i> (L)	Горец земноводный

№ п/п	Семейство	Вид	
		Латинское название	Русскоязычное название
Экотип: Гидрофиты			
		.) <i>Delarbre</i>	
Экотип: Гидрогелофиты			
9	Sparganiaceae	<i>Sparganium erectum L.</i>	Ежеголовник прямой
10	Isoetaceae	<i>Isoetes lacustris L</i>	Полушник озёрный
11	Alismataceae	<i>Alisma plantago-aquatica L.</i>	Частуха подорожниковая
12		<i>Sagittaria sagittifolia L</i>	Стрелолист обыкновенный
13	Butomaceae	<i>Butomus umbellatus L.</i>	Сусак зонтичный
14	Cyperaceae	<i>Schoenoplectus lacustris (L.) Palla</i>	Схеноплектус озёрный
15	Typhaceae	<i>Typha laxmannii Lepesch.</i>	Рогоз Лаксмана
16		<i>Typha angustifolia L.</i>	Рогоз узколистный
17	Poaceae	<i>Phragmites australis (Cav.) Trin. ex Steud.</i>	Тростник южный
18		<i>Glyceria maxima (Hartm.) Holmb.</i>	Манник большой
Экотип: Гигрогелофиты			
19	Acoraceae	<i>Acorus calamus L.</i>	Аир болотный
20	Cyperaceae	<i>Scirpus radicans Schkuhr</i>	Камыш укореняющийся
21		<i>Carex panicea L.</i>	Осока просаяная
22		<i>Scirpus sylvaticus L.</i>	Камыш лесной
23	Araceae	<i>Calla palustris L.</i>	Белокрыльник болотный
24	Menyanthaceae	<i>Menyanthes trifoliata L.</i>	Вахта трехлистная
25	Iridaceae	<i>Iris pseudacorus L.</i>	Ирис ложноаирный
26	Apiaceae	<i>Oenanthe aquatica (L.) Poir.</i>	Омежник водный

Примечание: источники [15], [16], [17], [18], [19]

В основном ассортименте рекомендуемых для г. Екатеринбурга видов прибрежно-водных растений — всего 26 видов; представлены 17 семействами. По классификации В. Г. Папченкова представители экотипа «Гидрофиты» (настоящие водные растения) образуют фитоценозы на глубине 0,5...2,5 м. Гидрофиты включают 8 видов, среди которых свободно-плавающие в толще воды, погруженные укореняющиеся, укореняющиеся с плавающими листьями. Представители экотипа «Гигрогелофиты» (воздушно-водные растения) — 10 видов, как правило, образуют фитоценозы на глубине 1,0...1,2 м — высокотравные гелофиты; на глубине 0,5 м расположены низкотравные гелофиты. На глубине до 0,1 см расположены приземные гелофиты. Экотип «Гигрогелофиты» включает 8 видов. Представители этого типа занимают различные уровни береговой зоны [16].

В то же время в дополнительный ассортимент декоративных видов водных растений могут быть добавлены гибриды и сортовые растения: Кувшинка гибридная сорт «Colorado» (*Nymphaea Luise Villemorette X Nymphaea Mexicana* «Colorado»); Кувшинка Марлиака сорт «Flammea» (*Nymphaea × marliacea Lat.-Marl.* «Flammea»); Кувшинка Марлиака сорт «Madame Wilfon Gonnere» (*Nymphaea × marliacea Lat.-Marl.* «Madame Wilfon Gonnere»); Кувшинка душистая сорт «Peggy's Double Yellow» (*Nymphaea odorata* Aiton «Peggy's Double Yellow») и др.

Из 26 видов прибрежно-водных растений, входящих в основной ассортимент, наиболее эффективную роль в аккумуляции вредных веществ проявляют аиры, ирисы, рогозы, роголистники, рдесты, частухи, в частности частуха подорожниковая и тростник [21].

Все перечисленные растения способны образовывать развитую мощную корневую систему и устойчивы к неблагоприятным факторам. Поэтому, некоторые из вышеперечисленных выше, в настоящее время используют при доочистке сточных вод.

Как отмечается в литературе чаще всего используют камыш, тростник озерный, рогоз узколистый и широколистный, рдест гребенчатый и курчавый, элодею, водный гиацинт (эйхорния), сусак, стрелолист обычный, гречиху земноводную, резуху морская, уруть для создания так называемых плавучих сконструированных водно-болотных угодий (Constructed floating wetlands — CFW). Именно такие конструкции рассматривают как промежуточную технологию очистки сточных вод, характеризующуюся признаками биологических прудов или водно-болотных угодий, где первостепенная роль отводится растительности. Доказано, что водная растительность очищает водоем от излишков органических соединений и нитратов. А камыш способен удалять из воды ряд органических соединений, в том числе фенолы, нафтолы, анилины [22].

Заключение

Анализ литературных данных показал, что прибрежно-водные растения из 7 семейств проявляют наиболее эффективную роль в аккумуляции вредных веществ. Руководствуясь основополагающим принципом сохранения природы и рационального природопользования, в настоящее время обеспечение экологической устойчивости при отведении и очистке ливневых вод целесообразно решать путем проектирования биоинженерных систем (дождевые сады на основе технологии фиторемедиации) без применения химических веществ очистки воды. В целом, меры направлены на предотвращение подтопления и затопления урбанизированных территорий.

Среди проанализированных травянистых прибрежно-водных растений выявлено значительное разнообразие растений, что свидетельствует о наличии богатого растительного покрова, способного эффективно участвовать в процессах фиторемедиации. Екатеринбург выделяется наличием эндемичных видов, что подчеркивает уникальность местной флоры и ее потенциал для использования в экологических проектах, при этом внедрение эндемичных видов возможно после проведения дополнительных исследований и наблюдений. Общее количество видов прибрежно-водных растений, рекомендуемых для г. Екатеринбурга — 26, указывает на возможность вариативного применения растений для решения экологических и эстетических задач в разных условиях. Растения, подходящие для фиторемедиации, могут быть использованы не только для очистки загрязненных территорий, но и для улучшения эстетического восприятия городской среды, что делает их ценными для ландшафтного дизайна в ландшафте города. Интеграция прибрежно-водных растений дождевых садов в городскую среду позволяет достичь баланса между историческим ландшафтом и благоустроенной современной городской средой, особенно вблизи набережных за счет природных компонентов. В целом, необходимы дальнейшие исследования по мониторингу и оценке эффективности подбора различных видов прибрежно-водных растений для процессов фиторемедиации, а также их адаптации к специфическим условиям на Среднем Урале, а также возможности их использования в контейнерах в различных экологических проектах.

Конфликт интересов

Не указан.

Рецензия

Все статьи проходят рецензирование. Но рецензент или автор статьи предпочли не публиковать рецензию к этой статье в открытом доступе. Рецензия может быть предоставлена компетентным органам по запросу.

Conflict of Interest

None declared.

Review

All articles are peer-reviewed. But the reviewer or the author of the article chose not to publish a review of this article in the public domain. The review can be provided to the competent authorities upon request.

Список литературы / References

1. Стратегия пространственного развития города Екатеринбурга. Концепция / А. Головин, Я. Голубева, М. Аппенцеллер и др. — Екатеринбург : TATLIN, 2018. — 336 с.
2. Андреева И.В. Фиторемедиация почв, загрязненных тяжелыми металлами / И.В. Андреева, Р.Ф. Байбеков, М.В. Злобина // Природообустройство. — 2009. — № 5. — С. 5–11.
3. Обертас Д.С. Дождевой сад – альтернатива дождеприемнику / Д.С. Обертас, А.А. Лагутин // Вестник ландшафтной архитектуры. — 2024. — №37. — С.74–78. — URL: https://www.elibrary.ru/download/elibrary_65611405_87362649.pdf (дата обращения: 10.02.2025).
4. Витюк Е.Ю. Биодренажные канавы и дождевые сады как инструмент благоустройства современного города / Е.Ю. Витюк // Архитектон: известия вузов. — 2022. — № 3(79). — DOI: 10.47055/1990-4126-2022-3(79)-11
5. Саянов А.А. Проектирование дождевого сада: метод. пособие / А.А. Саянов, Ю.А. Кондратенко, И.С. Щукин. — Москва : Гильдия Ландшафтных инженеров, 2020. — 12 с. — URL: https://sayangroup.ru/static/printed-catalogs/raingarden_laen_2021.pdf (дата обращения: 10.02.2025).
6. Русинова А.Д. Система дождевого сада, как часть системы поверхностного водоотвода города / А.Д. Русинова // Актуальные проблемы строительства, ЖКХ и техносферной безопасности : Материалы X Всероссийской (с международным участием) научно-технической конференции молодых исследователей, Волгоград, 24–29 апреля 2023 года / Под общей редакцией Н.Ю. Ермиловой, И.Е. Степановой. — Волгоград : Волгоградский государственный технический университет, 2023. — С. 71–72. — URL: https://www.elibrary.ru/download/elibrary_54737553_76624886.pdf (дата обращения: 10.02.2025).
7. Гончарова Н.В. Фиторемедиация: новая стратегия использования растений для очистки почвенного покрова / Н. В. Гончарова // Экологический вестник. — 2010. — №4. — С. 5–13. — URL: https://elibrary.ru/download/elibrary_44801354_64424569.pdf (дата обращения: 10.02.2025).
8. Щукин И.С. Выбор растений для фитофильтров очистки поверхностных сточных вод / И. С. Щукин, М. А. Авдеева, А. А. Галкина [и др.] // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического

университета. Строительство и архитектура. — 2014. — № 1. — С. 200–213. — URL: https://www.elibrary.ru/download/elibrary_21613585_50120370.pdf (дата обращения: 10.02.2025).

9. ГОСТ Р 70319–2022. «Зеленые» стандарты. Система сбора дождевой воды: очистка, хранение, использование. — Москва : Российский институт стандартизации, 2022. — URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200193005> (дата обращения 10.02.2025).

10. Бауэр В.В. Фиторемедиация как перспективный метод очистки почв от тяжелых металлов / В. В. Бауэр, О. Ю. Сартакова, О. М. Горелова // Ползуновский вестник. — 2023. — № 2. — С. 160–165. — DOI: 10.25712/ASTU.2072-8921.2023.02.021.

11. Иванов Д. В. Оценка загрязнения почв г. Екатеринбурга тяжелыми металлами с использованием суммарного индекса загрязнения / Д. В. Иванов, С. И. Куликов, В. Н. Луганский // Научное творчество молодежи – лесному комплексу России : материалы XV Всероссийской научно-технической конференции. — Екатеринбург, 2019. — С. 368–371. — URL: <https://elar.usfeu.ru/handle/123456789/8293> (дата обращения: 06.06.2025).

12. Ильин В.Б. Тяжелые металлы в системе почва – растение / В. Б. Ильин. — Новосибирск : Наука. Сиб. отд-ние, 1991. — 151 с.

13. Солт Д. Э. Фиторемедиация / Д. Э. Солт, Р. Д. Смит, И. Раскин // Ежегодник. Обзор физиологии растений и растениеводства Молекулярная биология. — 1998. — Т. 49. — С. 643–668.

14. Груданов Н.Ю. Редкие виды водных и прибрежных растений Свердловской области / Н. Ю. Груданов, А. С. Третьякова // Проблемы ботаники Южной Сибири и Монголии. — 2024. — Т. 23. — № 1. — С. 64–69. — DOI: 10.14258/pbssm.2024012.

15. Красная книга Свердловской области: животные, растения, грибы. — Екатеринбург : ООО «Мир», 2018. — 450 с.

16. Глущенков О.В. Основы гидроботанических исследований. Методическое пособие / О.В. Глущенков, Н.А. Глущенкова — Москва : Народное образование, 2018. — 248 с.

17. Коновалова Т.Ю. Растения для водоемов. Иллюстрированный справочник / Т.Ю. Коновалова, Н.А. Шевырева. — Москва : ЗАО «Фитон+», 2006. — 160 с.

18. Лучник А.Н. Растения для водоемов. Энциклопедия декоративных растений умеренной зоны / А.Н. Лучник. — Москва : Институт технологических исследований, 1997. — С. 391–404.

19. Водные растения // Первомайский. — URL: <https://pmsad-ekb.ru/vodnye-rasteniya> (дата обращения: 10.02.2025).

20. Прохладный питомник. — URL: <https://prohlada66.ru/price/rasteniya-dlya-vodoemov/> (дата обращения: 10.02.2025).

21. Галяс А.В. Высшие водные растения в системах биологической очистки сточных вод / А. В. Галяс, Е. П. Проценко // Молодежь. Наука. Производство: Материалы межвузовской научной конференции студентов и аспирантов, 2–4 марта 2009 года. — Курск, 2009. — 77 с.

22. Пашкевич М. А. Оценка эффективности процесса фитоэкстракции при очистке карьерных сточных вод / М.А. Пашкевич, А.Э Коротаева // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2022. — № 6-1. — С. 349–360. — DOI: 10.25018/0236_1493_2022_61_0_349.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Strategija prostranstvennogo razvitiija goroda Ekaterinburga. Koncepcija (kollektiv avtorov) [Strategy for spatial development of the city of Yekaterinburg. Concept / A. Golovin, Ya. Golubeva, M. Appenzeller et al. — Yekaterinburg : TATLIN, 2018. — 336 p. [in Russian].

2. Andreeva I.V. Fitoremediacija pochv, zagrjaznennyh tjazhelyimi metallami [Phytoremediation of soils contaminated with heavy metals] / I.V. Andreeva, R.F. Baibekov, M.V. Zlobina // Prirodoobustrojstvo [Nature management]. — 2009. — № 5. — P. 5–11 [in Russian].

3. Obertas D.S. Dozhdevoj sad – al'ternativa dozhdepriemniku [Rain garden – an alternative to a storm drain] / D.S. Obertas, A.A. Lagutin // Vestnik landshaftnoj arhitektury [Bulletin of landscape architecture]. — 2024. — №37. — P. 74–78. — URL: https://www.elibrary.ru/download/elibrary_65611405_87362649.pdf (accessed: 10.02.2025) [in Russian].

4. Vityuk E. Yu. Biodrenazhnye kanavy i dozhdevye sady kak instrument blagoustrojstva sovremenennogo goroda [Biodrainage canals and rain gardens as a tool for improving a modern city] / E. Yu. Vityuk // Arhitekton: izvestija vuzov [Arkhitekton: news of universities]. — 2022. — №3(79). — DOI: 10.47055/1990-4126-2022-3(79)-11 [in Russian].

5. Sayanov A.A. Proektirovanie dozhdevogo sada: metod. posobie [Rain Garden Design: Methodological Guide] / A.A. Sayanov, Yu.A. Kondratenko, I.S. Shchukin. — Moscow : Guild of Landscape Engineers, 2020. — 12 p. — URL: https://sayangroup.ru/static/printed-catalogs/raingarden_laen_2021.pdf (accessed: 10.02.2025) [in Russian].

6. Rusinova A.D. Sistema dozhdevogo sada, kak chast' sistemy poverhnostnogo vodootvoda goroda [Rain garden system as part of the city's surface drainage system] / A.D. Rusinova // Aktual'nye problemy stroitel'stva, ZhKH i tehnosfernoj bezopasnosti : Materialy X Vserossijskoj (s mezhdunarodnym uchastiem) nauchno-tehnicheskoy konferencii molodyh issledovatelej, Volgograd, 24–29 aprelja 2023 goda [Current problems of construction, housing and communal services and technosphere safety: Proceedings of the X All-Russian (with international participation) Scientific and Technical Conference of young researchers, Volgograd, April 24–29, 2023] / Under the general editorship of N.Yu. Ermilova, I.E. Stepanova. — Volgograd : Volgograd State Technical University, 2023. — P. 71–72. — URL: https://www.elibrary.ru/download/elibrary_54737553_76624886.pdf (accessed: 10.02.2025) [in Russian].

7. Goncharova N.V. Fitoremediacija: novaja strategija ispol'zovaniija rastenij dlja ochistki pochvennogo pokrova [Phytoremediation: a new strategy for using plants to clean up soil cover] / N. V. Goncharova // Jekologicheskij vestnik [Ecological Bulletin]. — 2010. — № 4. — P. 5–13. — URL: https://elibrary.ru/download/elibrary_44801354_64424569.pdf (accessed: 10.02.2025) [in Russian].

8. Shchukin I.S. Vybor rastenij dlja fitofil'trov ochistki poverhnostnyh stochnyh vod [Selection of plants for phytofilters for surface wastewater treatment] / I. S. Shchukin, M. A. Avdeeva, A. A. Galkina [et al.] // Vestnik Permskogo nacional'nogo issledovatel'skogo politehnicheskogo universiteta. Stroitel'stvo i arhitektura [Bulletin of Perm National Research Polytechnic University. Construction and Architecture]. — 2014. — №1. — P. 200–213. — URL: https://www.elibrary.ru/download/elibrary_21613585_50120370.pdf (accessed: 10.02.2025) [in Russian].
9. GOST R 70319–2022. «Zelenye» standarty. Sistema sbora dozhdevoj vody: ochistka, hranenie, ispol'zovanie [«Green» standards. Rainwater collection system: purification, storage, use]. — Moscow : Russian Institute of Standardization, 2022. — URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200193005> (accessed: 10.02.2025) [in Russian].
10. Bauer V.V. Fitoremediacija kak perspektivnyj metod ochistki pochv ot tjazhelyh metallov [Phytoremediation as a promising method for soil purification from heavy metals] / V. V. Bauer, O. Yu. Sartakova, O. M. Gorelova // Polzunovskij vestnik [Polzunovsky Bulletin]. — 2023. — № 2. — P. 160–165. — DOI 10.25712/ASTU.2072-8921.2023.02.021.) [in Russian].
11. Ivanov D. V. Ocenka zagryazneniya pochv g. Ekaterinburga tyazhelymi metallami s ispol'zovaniem summarnogo indeksa zagryazneniya [Assessment of soil pollution in Yekaterinburg with heavy metals using the total pollution index] / D. V. Ivanov, S. I. Kulikov, V. N. Lugansky // Nauchnoe tvorchestvo molodezhi – lesnomu kompleksu Rossii : materialy XV Vserossijskoj nauchno-tehnicheskoy konferencii [Scientific creativity of youth – to the forest complex of Russia: materials of the XV All-Russian Scientific and Technical Conference]. — Yekaterinburg, 2019. — P. 368–371. — URL: <https://elar.usfeu.ru/handle/123456789/8293> (accessed: 06.06.2025) [in Russian].
12. Ilyin V.B. Tjazhelye metally v sisteme pochva – rastenie [Heavy metals in the soil-plant system] / V.B. Ilyin. — Novosibirsk : Science. Siberian Branch, 1991. — 151 p. [in Russian].
13. Salt D. E. Fitoremediacija [Phytoremediation] / D. E. Salt, R. D. Smith, I. Raskin // Ezhegodnik. Obzor fiziologii rastenij i rastenievodstva Molekuljarnaja biologija [Yearbook. Review of Plant Physiology and Plant Growing Molecular Biology]. — 1998. — V. 49. — P. 643–668 [in Russian].
14. Grudanov N.Yu. Redkie vidy vodnyh i pribrezhnyh rastenij Sverdlovskoj oblasti [Rare species of aquatic and coastal plants of the Sverdlovsk region] / N. Yu. Grudanov, A. S. Tretyakova // Problemy botaniki Juzhnoj Sibiri i Mongolii [Problems of botany of Southern Siberia and Mongolia]. — 2024. — Vol. 23. — № 1. — P. 64–69. — DOI 10.14258/pbssm.2024012 [in Russian].
15. Krasnaya kniga Sverdlovskoj oblasti: zhivotnye, rasteniya, griby [Red Book of the Sverdlovsk Region: animals, plants, mushrooms]. — Yekaterinburg : LLC 'Mir', 2018. — 450 p. [in Russian].
16. Glushenkov O.V. Osnovy gidrobotanicheskikh issledovanij. Metodicheskoe posobie [Fundamentals of hydrobotanical research. Methodological manual] / O.V. Glushenkov, N.A. Glushenkova. — Moscow : Public education, 2018. — 248 p. [in Russian].
17. Konovalova T.Yu. Rasteniya dlya vodoemov. Illyustrirovannyj spravochnik [Plants for water tanks. Illustrated reference book] / T.Yu. Konovalova, N.A. Shevyreva. — Moscow : CJSC "Fiton+", 2006. — 160 p. [in Russian].
18. Luchnik A.N. Rastenija dlja vodoemov. Jenciklopedija dekorativnyh rastenij umerennoj zony [Plants for reservoirs. Encyclopedia of ornamental plants of the temperate zone] / A.N. Luchnik. — Moscow : Institute of Technological Research, 1997. — P. 391–404 [in Russian].
19. Vodnye rastenija [Aquatic plants] // Pervomajskij [Pervomaysky]. — URL: <https://pmsad-ekb.ru/vodnye-rasteniya> (accessed: 10.02.2025) [in Russian].
20. Prohladnyj pitomnik [Cool nursery]. — URL: <https://prohlada66.ru/price/rasteniya-dlya-vodoemov/> (accessed: 10.02.2025) [in Russian].
21. Galyas A.V. Vysshie vodnye rastenija v sistemah biologicheskoy ochistki stochnyh vod [Higher aquatic plants in biological wastewater treatment systems] / A.V. Galyas, E.P. Protsenko // Molodezh'. Nauka. Proizvodstvo: Materialy mezhvuzovskoj nauchnoj konferencii studentov i aspirantov, 2–4 marta 2009 goda [Youth. Science. Production: Materials of the Interuniversity Scientific Conference of Students and Postgraduates, March 2–4, 2009]. — Kursk, 2009. — 77 p. [in Russian].
22. Pashkevich M. A. Ocenka effektivnosti processa fitoekstrakcii pri ochistke kar'ernyh stochnyh vod [Evaluation of the efficiency of the phytoextraction process in the treatment of quarry wastewater] / M. A. Pashkevich, A. E. Korotaeva // Gornyj informacionno-analiticheskij bjulleten' [Mining Information and Analytical Bulletin]. — 2022. — № 6-1. — P. 349–360. — DOI 10.25018/0236_1493_2022_61_0_349 [in Russian].