

Н.О. Телюра, О.С. Ломакіна

Харківський національний університет міського господарства імені О.М. Бекетова, Україна

ШЛЯХИ ПІДВИЩЕННЯ ЕКОЛОГІЧНОЇ БЕЗПЕКИ УРБАНІЗОВАНИХ ТЕРИТОРІЙ: ТЕХНОЛОГІЇ ТА ІННОВАЦІЇ

Запропоновано шляхи підвищення екобезпеки урботериторій, через обґрунтований вибір природоохоронних, екологічно дружніх інноваційних рішень. Запропоновані шляхи, дозволяють визначати відносну значущість деяких факторів якості довкілля, впровадження природоохоронних екологічно дружніх інноваційних рішень з використанням методу аналізу ієрархій як основи системного підходу, з урахуванням нормативної бази. Використовуючи основні етапи програмно-аналітичного методу обробки екологічних даних, показано, що технології, інструменти та еколого-економічні аспекти природоохоронної діяльності знижують ймовірність прийняття необґрунтованого рішення з підвищення екологічної безпеки урбанізованих територій.

Ключові слова: екологічна безпека, системний підхід, технології, інструменти та еколого-економічні аспекти природоохоронної діяльності, якість довкілля, обробка екоданих, нормативна база

Постановка проблеми

Необхідність організації та забезпечення екологічно безпечного природокористування, покращення якості довкілля урбанізованих територій передбачає соціальний та економічний розвиток суспільства. Покращення якості довкілля урбанізованих територій повинно відбуватись одночасно зі зменшенням впливів на довкілля.

Щодо збільшення впливів на довкілля, треба зазначити, що широкомасштабне російське вторгнення в Україну, створило численні екологічні ризики, які загострюють і загрожують екологічній безпеці нашої держави, наносять велику шкоду довкіллю та природній спадщині.

Понад третина територій заповідних зон зазнають значної шкоди внаслідок агресії, це потенційна загроза для населення та біорізноманіття на десятиліття вперед. Наслідки для довкілля призводять до втрат стійкості екосистем та збільшення впливу екологічних складових на здоров'я населення, особливої уваги заслуговує розробка та обґрунтування шляхів підвищення екологічної безпеки урбанізованих територій.

До порушень еколого-соціальних нормативів у сфері використання природних ресурсів дуже часто призводять ситуації, в яких відбувається недотримання правил щодо системи природокористування [1–3]. Практика застосування та адаптації технологічних інновацій, для поліпшення стану природних об'єктів та ресурсів, є безумовно одним з пріоритетів.

Адаптація національного довкілльового

законодавства до вимог ЄС, на сьогодні, вже становить понад 63%. При збереженні темпів та експертній підтримці ЄС, за два роки, можна же досягти понад 75%.

Наразі, за даними Комітету Верховної Ради з питань екологічної політики та природокористування, на розгляді знаходиться дев'ятнадцять євроінтеграційних довкілльових законопроектів, чотири з яких мають бути прийняті першочергово для виконання Угоди про асоціацію з ЄС.

Зокрема, це стосується, території Смарагдової мережі (№ 4461), державної системи моніторингу довкілля (№ 7327), підтримки розвитку вітчизняних галузей надрокористування (№ 4187) та забезпечення конституційних прав громадян на безпечне для життя і здоров'я довкілля (№ 6004-2).

Враховуючи інтеграційні процеси України, саме інноваційно-технологічні природоохоронні заходи, які відповідають сучасному рівню досягнень у галузі захисту навколишнього середовища та раціонального природокористування та належать до категорії найкращих доступних технологій у країнах ЄС, є пріоритетними на сьогодні [1].

Саме обґрунтування та вибір шляхів поступових інтеграційних процесів, щодо стандартів та норм, спрямованих на забезпечення інструментарію екологічної безпеки урбанізованих територій заслуговує на особливу увагу.

Аналіз останніх досліджень та публікацій

Спираючись та аналізуючи дослідження, визначаємо, що кращий результат дає сукупність

кількох методів. При правильному проектуванні комплексних очисних споруд, іноді стічні води, що пройшли процес видалення забруднень, на виході виявляються чистішими за водойми, куди вони надходять. Отже, виходячи з викладених вище міркувань, можна припустити, що технології екологічно безпечного поводження з водними ресурсами є органічною складовою перспективного безпечного існування людства.

Авторами у дослідженні [4] зроблено наголос на тому, результати визначення ефективності доочищення стічних вод малих населених пунктів за допомогою споруд біоплато (на прикладі с. Зорянське Шевченківського району), виявлено, що якість води покращується під час послідовного проходження складових комплексу, осінній та літній період характеризується повною детоксикацією стічних вод, адже на кінцевому етапі – ставок Беньківський, токсичність не виявляється. Не визначеним, залишається питання можливості комплексного застосування біотехнологій очищення.

Тобто комбінування технологій на сьогодні є найбільш прийнятним та оптимальним напрямом для впровадження на нашій території, з урахуванням істотних змін урбанізованих територій.

На вибір технологій для комбінування впливає багато факторів, а доцільний набір з них забезпечується для проектувальників очисних споруд за методом фітореMediaції високі стартові умови для успішного завершення їх роботи.

Авторами у [5] представлено дослідження, щодо можливого використання рослин, авторами зазначено, що метод фітореMediaції може бути більш економічним, неінвазивним і загальнодоступним. Не досліджено особливості комплексного застосування декількох методів / способів усунення забруднень навколишнього середовища.

У роботі [6], авторами зазначено, що застосування методу фітореMediaції може бути корисним інструментом для покращення якості води природних екосистем на сільськогосподарських територіях при належному плануванні, відновленні, використано методіку вибору місць відновлення водно-болотних угідь.

Невирішеним залишається питання у розробці підходу для об'єднання та уніфікації розрізаних протоколів, особливостей їх використання. Питанням комплексного застосування відповідних технологій, також не приділено уваги.

Автори визначають, що понад вісімдесят відсотків водно-болотні угідь Європи первісної площі вже втрачено за минуле тисячоліття, у роботі [7] визначено це, але дані території є

цінними через їх біорізноманіття та екосистемні послуги, визначається, що дії, щодо охорони та відновлення, потрібно посилювати, щоб зупинити подальше погіршення стану ресурсу. Особлива увага, повинна бути приділена прийняттю управлінських рішень щодо використання даних територій з урахуванням їх послуг. Але, невирішеним питанням є можливість комплексного та оптимального застосування, альтернативних технологій, які повинні враховувати особливості водно-болотних територій при їх використанні.

Автори [8] стверджують, що важкі метали є одними з найсерйозніших забруднювачів навколишнього середовища сьогодні. Важкі метали токсично впливають на здоров'я людини та викликають різноманітні серйозні захворювання. Існує кілька методів видалення важких металів із навколишнього середовища, але вони мають обмеження, такі як висока вартість, короткий час дії, логістичні проблеми та механічна складність. ФітореMediaція може бути використана як альтернативне рішення для видалення важких металів, оскільки вона має перевагу економічно ефективних і природних методів, заснованих на використанні природних ландшафтних умов і додаткових структур. На основі проведених досліджень автори ідентифікували кілька рослин з високим потенціалом як біоаккумуляторів важких металів, які можна використовувати в процесах фітореMediaції важких металів. Проте залишається невирішеним питання розробки методіки вибору відповідних технічних рішень фітореMediaції в конкретних умовах поселення.

Забруднення води вважається серйозною проблемою, і це відображено в роботі з Ліваном як приклад [9]. Сильне забруднення та навантаження поживними речовинами, важкі метали та органічні забруднювачі дуже шкідливі для здоров'я людини та завдають шкоди водним організмам та екосистемам. ФітореMediaція природних і створених водно-болотних угідь вважається стійким і ефективним методом очищення води. Однак ці багатообіцяючі ініціативи супроводжуються дуже обмеженими дослідженнями ролі рослин у процесі рекультивациі та специфіки методу при застосуванні пріоритетних методів фітореMediaції.

У [10] автори визначають водно-болотні угіддя як технологію санітарії, яка використовує природні механізми очищення, що забезпечуються рослинністю, ґрунтом і пов'язаними мікробними популяціями. Автори наводять адекватний перелік критеріїв, але не описують, як їх слід застосовувати при обґрунтуванні управлінських рішень щодо вибору відповідних технологій.

У роботі [11] зроблено спробу застосувати

цілісну імітаційну модель фіторемедіації для прийняття управлінських рішень на прикладі системи водопостачання.

Цей підхід передбачає вибір із набору альтернативних варіантів із застосуванням кількох наборів критеріїв. Але не враховуються особливості та умови окремих населених пунктів, а також їх соціальний склад.

Автор [12], визначає та характеризує напрями підвищення екологічної безпеки урбанізованих систем, особливо при техногенному навантаженні від забруднення, що є актуальним напрямом з поліпшення та забезпечення екологічної безпеки урбанізованих територій, в умовах обмеженого фінансування, збільшення рівнів навантаження та існуючих обмежень. Обґрунтування комплексного використання запропонованих підходів та методів, потребує подальшого розвитку.

Важливою проблемою впровадження концепції сталого розвитку та вимог ЄС на урбанізованих територіях, в умовах збільшення впливів на навколишнє середовище, масштаби якого вже призвели до втрати стійкості екосистем, полягає у розробці та обґрунтуванні застосування інноваційних методів поводження з природними ресурсами. При цьому слід мати на увазі, що застосовуються декілька методів підготовки та відновлення ресурсів сприятиме зменшенню негативного впливу [1, 13] та вирішенню проблем комплексної оцінки та управління екологічною безпекою урбанізованих територій.

Перспективні та інноваційні технології, екологічно безпечні технології поводження з природними ресурсами на різних етапах, вимагають комплексного використання із застосуванням методів системного аналізу, на основі програмно-аналітичних процедур та МАІ [13-15].

Мета – підвищення екобезпеки урбанізованих територій, через обґрунтований вибір природоохоронних, екологічно дружніх інноваційних рішень шляхом застосування методу системного аналізу, на підставі програмно-аналітичних процедур з використанням методу аналізу ієрархій (МАІ).

Основний матеріал

Реалізація деяких характеристик світового досвіду Реалізація екологічно чистих техніко-економічних рішень Підвищення екологічної безпеки міських систем невіддільне від поступового переходу від систем життєзабезпечення до систем екологічної безпеки. Цей шлях визначається вибором екологічно привабливих техніко-економічних рішень для

підвищення екологічної безпеки.

Проблема, як бачимо, має глобальний характер та потребує комплексного вирішення як на національному, так і на світовому рівні.

На сьогодні в світі застосовується декілька екологічно безпечних – їх ще називають екологічно дружніми – технологій (табл. 1).

Особливої уваги на сьогодні, заслуговують водні ресурси, чиста вода та належні санітарні умови на різних етапах: від водопідготовки до очищення вод.

Авторами, на основі проведених попередніх досліджень [2, 3] визначено, що для виконання задач такої складності застосовуються методи системного аналізу, до яких відноситься метод аналізу ієрархій (МАІ) [13-16].

Розроблена система [15] має початкову вершину, що представляє ціль аналізованих запланованих, після якої слід рівень найважливіших критеріїв. Нижче розташовані організовані по ієрархічним рівням елементи, відражаючи суть проблеми, а також перелік альтернативних варіантів рішень.

Побудова ієрархії та виділення елементів на кожному рівні надає істотний вплив на вибір. Структурно ієрархія складено з шести рівнів.

Опис елементів кожного з п'яти рівнів та відповідні ієрархічні зв'язки наведено в [16]. Виконання формування дослідження поділяється на етапи:

Перший етап це безпосередня побудова ієрархії досягнення мети.

Другий етап це експертне порівняння за критеріями поточного рівня ієрархії, в якості яких виступає елемент більш високого рівня [16].

Третій етап це обчислення локальних і глобальних пріоритетів факторів і критеріїв ієрархічної моделі. Його вихід є результатом попереднього другого етапу. Як підтримку інструментів можна використовувати різні середовища, що дозволяє автоматизувати весь процес розрахунку та покращити його реалізацію за допомогою спеціально адаптованих діалогових інструментів. На останньому рівні обчислюється глобальний пріоритет альтернатив.

На четвертому етапі досліджується стійкість (чутливість) моделі з метою вивчення зміни значень її вхідних параметрів, визначення вибору аналізу чутливості для кожної конкретної ситуації з урахуванням поточної ситуації.

На п'ятому етапі приймається раціональне рішення щодо вибору пріоритету виходячи з найбільшої важливості глобальних пріоритетів.

Таблиця 1

Характеристика екологічно безпечних технологій для підвищення екологічної безпеки урбанізованих територій (на прикладі технологій поводження з водними ресурсами) [17-20]

Найменування технології	Вид технології та її конструктивні особливості	Переваги	Недоліки	Країна виробник		
				Країни ЄС	США	Канада
Накопичення та зберігання води	Багато сільгосп виробників відмовляються від використання води із комунальних мереж або колодязей (підземні води), та побудували власні водойми, щоб накопичувати та зберігати дощову та талу воду для використання протягом року.	Зменшується навантаження на комунальні мережі водопостачання, не збіднюються підземні водоносні шари	Немає	+	+	+
Використання систем крапельного зрошення	Вода подається безпосередньо у прикореневу зону рослини регульованими малими порціями з допомогою спеціальних дозаторів-крапельниць. Вперше метод широко використано у Ізраїлі, де в умовах дефіциту води в 1950-х роках почалися дослідження по крапельному зрошуванню. На сьогодні широко використовується по всьому світі. Лідером з використання цієї технології є США.	Дозволяє радикально зменшити кількість води для поливу і суттєво раціоналізувати її витрати. Крапельне зрошування обумовлює більш ранній урожай, не викликає ерозії ґрунту.	Для монтажу та застосування систем крапельного поливу використовуються вироби з пластику, деякі з котрих після використання системи або її заміні залишають за в ґрунті.	+	+	+
Сухе землеробство	Метод вирощування сільськогосподарських культур без спеціального зрошення в регіонах з обмеженою вологістю. Успішність застосування даного методу залежить від ефективного зберігання обмеженої вологи в ґрунті, правильного підбору культур та методів вирощування, які найкраще використовують цю вологу. Сухе землеробство стало нормою в деяких регіонах Австралії, США, Іспанії, Італії та Греції.	Перевагою даної технології є те, що за посушливих умов на полях немає бур'янів, грибкові патогени та шкідники, як правило, також не фіксуються в сухих посівах. Сухе землеробство, як правило, покращує смакові якості, але дає менший урожай, ніж зрошувані культури. Винний виноград, оливки, картоплю та яблуна також можна успішно вирощувати в сухих умовах	Немає	+	+	

Продовження табл. 1

Планування зрошення	Розумне управління водою полягає не тільки в тому, яким чином доставляється вода, але також залежить від періодичності та кількості. Щоб уникнути недостатнього або надмірного поливу своїх сільськогосподарських культур, фермери ретельно стежать за прогнозом погоди, а також за вологістю ґрунту та рослин та пристосовують свій графік зрошення до поточних умов.	Дозволяє зменшити витрати води та більш раціонально використовувати водні ресурси	Немає	+	+	+
Зворотньо-осматична фільтрація	Система зворотного осмосу – це цілий комплекс складових, що забезпечують очищення води та зручну її подачу. Вона складається із: -низки попередніх фільтрів, які не допускають до мембрани речовин, що можуть її пошкодити (зокрема доволі агресивним у цьому аспекті є хлор, як окисник, або ж звичайні механічні домішки); -напівпроникної мембрани; -насосу, що створює необхідний тиск для процесу зворотного осмосу; -збагачувальних фільтрів, які додають до очищеної води необхідні мінерали; -бака, для зберігання очищеної води (сам процес доволі повільний, тому зручно мати певний об'єм у резерві); -крана, для зручного користування установкою.	Очищення води таким способом має суттєві переваги над іншими методами. Якщо говорити про фільтрацію звичайної води, то цифра 97-99% в графі «затриманих» домішок говорить сама за себе. Жодна система очистки не може забезпечити подібного результату.	Являє собою складну інженерну систему. Тиск повинен бути в межах 2-6 бар. В разі недостатнього тиску – потрібен додатковий насос, у випадку надлишкового – понижуючий редуктор. Ще одним недоліком системи є її неспроможність утримувати легкі сполуки, зокрема хлор. Також слід мати на увазі необхідність періодичного очищення фільтрів спеціальними хімічними реагентами.	+	+	+
Нанофільтрація	Нанофільтрація - це мембранна технологія, яка за принципом дії і конструкції дуже схожа на зворотний осмос. Мембрана для нанофільтрації в першу чергу утримує двовалентні іони і більші молекули.	Установки нанофільтрації можуть видаляти забруднення, такі як бактерії, розчинені солі, пестициди і білки, розміром до 0,001 мікрона.	Установки для нанофільтрації - це складна система, де основними елементами є мембрана і насос, що подає воду в корпус фільтра.		+	+

Продовження табл. 1

			Основне завдання насоса підтримувати необхідний тиск для нанофільтрації в корпусі обладнання. Без нього процес дифузії неможливий.			
Ультра фільтрація	Ультрафільтрація - це процес пропускання води через спеціальну мембрану. Ультрафільтрація займає проміжне місце між зворотнім осмосом і мікрофільтрацією. Одна з переваг ультрафільтрації - це можливість зберегти сольовий склад води з одночасним очищенням води від домішок і патогенних мікроорганізмів без застосування хімічних інгредієнтів. Пори ультрафільтраційної мембрани знаходяться в діапазоні від 0,05 мкм до 1 нмкм.	Ультрафільтрація здійснює затримку колоїдних і тонко дисперсних домішок, мікроорганізмів, бактерій і вірусів, розчинених солей важких металів, заліза, ртуті, миш'яку, марганцю, свинцю і т.д. Ультрафільтрація води здійснюється без застосування хімічних інгредієнтів і є ідеальним способом очищення побутової і технічної трубопровідної води.	Не видаляє розчинені неорганічні речовини	+	+	+
Фіторе mediaція	Фіторе mediaція – технологія очищення навколишнього середовища за допомогою рослин та асоційованих з ними мікроорганізмів. У цій технології використовуються природні процеси, до яких залучені рослини та ризосферні мікроорганізми, які використовують різні забруднювачі для своєї життєдіяльності. У процесі фіторе mediaції використовуються біогеоценоз, енергія світла, тому дана технологія значно дешевша за методи, засновані на застосуванні техніки.	Один з основних конструктивних елементів споруд фіторе mediaції – вищі водні рослини. Видовий склад вищих водних рослин визначається з огляду на такі критерії: розвиненості (потужності) кореневої системи; стійкості до високих значень мінералізації (особливо солоності); географічного розповсюдження. Очищення у водній товщі здійснюється не тільки за рахунок вищих водних рослин, але й перифітоном, фітопланктоном та бактеріопланктоном.	Спори з використанням технологій фіторе mediaції самодостатня система за умови дотримання оптимального режиму експлуатації: стабільне надходження води у споруду, догляд за конструкціями споруди, своєчасне видалення механічних домішок, за необхідності здійснення додаткової посадки ВВР, додавання інноваційних технічних заходів.	+	+	+

		Очищення у ґрунтах фільтруючої товщі споруд фітореємедіації здійснюється за рахунок життєдіяльності потужної кореневої системи очерету та бактерій.				
Біоінженерні ставки (біоплато)	Біоінженерні ставки (англ. constructed wetland, також біоплато, біоінженерні споруди) - енергоефективні інженерні споруди для очищення стічних вод, розроблені на основі властивостей природних водно-болотних угідь, в яких проходять процеси мікробної трансформації та фітореємедіації забруднень. Біоінженерні ставки (БС) здатні видаляти органічні забруднення, завислі речовини, патогенні мікроорганізми та біогенні елементи із стічних вод. Сьогодні існують кілька типів біоінженерних ставків, що широко застосовуються як системи для очищення стічних вод. Біоінженерні ставки з горизонтальним підповерхневим потоком (ГПП) є одними з найбільш широко використовуваних у практиці водоочищення спорудами фітореємедіації. Конструктивно БС ГПП складаються з шару фільтрувального матеріалу (гравій, щебінь, пісок), що завантажений у попередньо покритий водонепроникним матеріалом котлован. У фільтрувальний шар висаджують вищі водні рослини.	Біоплато відзначаються значною окисною здатністю завдяки створенню біоплівки гідробіонтів на поверхні інертного субстрату і зануреній частині кореневищ і стебел рослин, які перебувають у стані симбіотичності взаємодії. Частина біоценозу мікроорганізмів знаходиться в підвішеному стані у вигляді пластівців, а також утворює пласт природних відкладень - бентос, в якому проходить активний процес анаеробного розкладання органічних забруднень.		+		

На підставі запропонованого методу з використанням експертної оцінки елементів кожного ієрархічного рівня можна визначити відносну значущість елементів ієрархії в групах, що відповідно має комп'ютерну реалізацію.

Отже, для обґрунтованого комплексного вибору технології підвищення екологічної безпеки урбанізованих територій для впровадження буде найкращим з позицій особливостей навколишнього середовища, населеного пункту, де воно впроваджуватиметься, а також специфічних вимог, що висуваються до даної технології або їх комбонування. Крім того, слід зазначити, що при виборі варіанта можна використовувати інформацію різного типу: дані безпосередніх вимірів, прогнозні та експертні оцінки.

Легітимність технологій та інновацій для підвищення екологічної безпеки, включаючи технологічні зміни, впливають на суспільство в цілому. Тому потрібно не тільки оптимізувати роботу нових технологій і розробити ефективну політику.

Висновки

Розробляючи обґрунтовані рекомендації щодо впровадження технологій та інновацій, даний підхід дозволяє розробляти стратегії управління екологічною та соціальною безпекою урбанізованих територій в Україні та світі.

За допомогою МАІ оцінюється кожен рівень ієрархії та визначаються зв'язки між елементами. Демонструє ієрархію з номерами глобального пріоритету.

Література

1. Dmitrieva, O.O. Implementation environmentally safe wastewater as an element of sustainable human settlements development Ukraine. [Text] / O.O. Dmitrieva, N.O. Teliura, V.P. Vasilenko // *Municipal Economy of Cities*. – 2018. – №7. – С.174–179 <https://doi.org/10.33042/2522-1809-2018-7-146-174-179> [in Ukrainian]
2. Teliura, N.O. Development of the methodological approach to the selection of technologies for environmental-safe water drainage in populated areas. [Text] / N.O. Teliura // *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. – 2018. – № 6(10-96). – P.55–63 <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2018.148689>
3. Teliura, N. Selection Methodology of Ecological Safety Priorities of Sustainable Development Goals of Urban Agglomerations. [Text] / N.Teliura, N.Tsapko, H. Khabarova, O. Lomakina, O. Pshenichnova, T. Klochko, M. Nechyporuk, V. Pavlikov, D. Kritskiy // *Integrated Computer Technologies in Mechanical Engineering* – 2021. ICTM 2021. Lecture Notes in Networks and Systems, Springer, Cham. – 2022. – 367. – P. 941–950 https://doi.org/10.1007/978-3-030-94259-5_73
4. Крайнюков О., Кузьміна І. Використання споруд біоплато задля очистки стічних вод малих населених пунктів // *Науковий журнал «Молодий вчений»*. Біологічні науки. № 7 (71) (2019). Електронний ресурс. Режим доступу: <https://molodyvchenyi.ua/index.php/journal/article/view/3216>

5. Ellen L. Arthur , Pamela J. Rice , Patricia J. Rice , Todd A. Anderson , Sadika M. Baladi , Keri L. D. Henderson & Joel R. Coats (2005) *Phytoremediation—An Overview, Critical Reviews in Plant Sciences*, 24:2, 109-122, DOI: 10.1080/07352680590952496
6. Francisco A.Comina Ricardo Sorandoa Nadia Darwiche-Criadob Mercedes Garcíaa Adriá Masipc (2014) *A protocol to prioritize wetland restoration and creation for water quality improvement in agricultural watersheds. Ecological Engineering*, 66, 10-18 DOI <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2013.04.059> Get rights and content
7. Jos T.A. Verhoeven, *Wetlands in Europe: Perspectives for restoration of a lost paradise, Ecological Engineering, Volume 66, 2014, Pages 6-9, DOI https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2013.03.006.*
8. Sumiahadi A., Acar R. A review of phytoremediation technology: heavy metals uptake by plants // *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. – IOP Publishing, 2018. – Т. 142. – №. 1. – С. 012023.
9. Ghanem H., Chalak L., Baydoun S. *Phytoremediation of Lebanese polluted waters: a review of current initiatives //MATEC Web of Conferences*. – EDP Sciences, 2019. – Т. 281.
10. Maiga, Y., von Sperling, M. and Mihelcic, J.R. *Constructed Wetlands. In: J.B. Rose and B. JiménezCisneros, (eds) Global Water Pathogen Project. http://www.waterpathogens.org (J.R. Mihelcic and M.E. Verbyla) (eds) Part 4 Management Of Risk from Excreta and Wastewater) http://www.waterpathogens.org/book/constructed-wetlands Michigan State University, E. Lansing, MI, UNESCO.*
11. *Decision support system for the long-term city metabolism planning problem / Morley M. S., Vitorino D., Behzadian K., Ugarelli R., Kapelan Z., Coelho S. T., Do Céu Almeida M. // Water Science and Technology: Water Supply. 2015. Vol. 16, Issue 2. P. 542–550. DOI: https://doi.org/10.2166/ws.2015.167.*
12. Решетченко А.І. Підвищення екологічної безпеки урбосистем при техногенному навантаженні від шумового забруднення [Текст] : дис. ... канд. техн наук / А.І. Решетченко. – СумДУ, 2020. – 155 с.
13. Teliura, N. O. Ensuring of an ecological safety of eutrophic water bodies via the implementation of priority water disposal technologies in settlements [Текст] / N. O. Teliura // *Wissenschaft für den modernen Menschen: innovative technik und technologie, informatik sicherheitssysteme, verkehrsentwicklung, architektur: monografische reihe «Europäische Wissenschaft»*. – Karlsruhe. Germany: Scientific-World-NetAkhatAV, 2021. – Buch 4. – Teil 4. 2021. P. 10-19.
14. Саати, Т.Л. *Принятие решений: Метод анализа иерархий [Текст]: пер. с англ. / Т. Л. Саати ; Переводчик Р. Г. Вачнадзе . – М. : Радио и связь, 1993 . – 314 с.*
15. Телюра, Н. О. Підвищення екологічної безпеки евтрофованих водних об'єктів шляхом впровадження пріоритетних технологій водовідведення в населених пунктах [Текст] : дис. ... канд. техн. наук : 21.06.01 / Н. О. Телюра. Харків, 2019. – 190 с.
16. Решетченко А. І., Телюра Н. О., Ломакіна О. С. Обґрунтування техніко-економічних рішень підвищення екологічної безпеки урбосистем Комунальне господарство міст. 2022. – Т. 3. – № 170. – С. 62–70 DOI 10.33042/2522-1809-2022-3-170-62-70 <https://khg.kname.edu.ua/index.php/khg/article/view/5952/5870>
17. *Екологія-Право-Людина. Приклади оцідливого використання води в сільському господарстві. Електронний ресурс. Режим доступу: http://epl.org.ua/human-*

posts/prykłady-oshhadlyvogo-vykorystannya-vody-v-silskomu-gospodarstvi/

18. Нанофільтрація у питному водопостачанні / В.В. Гончарук, А.А. Кавицька, М.Д. Скильська // *Хімія та технологія води*. — 2011. — Т. 33, № 1. — С. 63-94. Електронний ресурс. Режим доступу:

<http://dspace.nbuv.gov.ua/handle/123456789/130617>

19. Технологія та обладнання одержання питної та технічної води: Фізико-хімічні основи і алгоритми розрахунків процесів водопідготовки [Електронний ресурс] : навч. посіб. для студ. спеціальності 161 «Хімічні технології та інженерія», спеціалізації «Хімічні технології неорганічних речовин та водоочищення» / Н.М. Толстопалова, А.Л. Концевой, І.В. Косогіна, С.А. Концевой ; КПІ ім. Ігоря Сікорського. — Електронні текстові дані (1 файл: 5,347 Мбайт). — Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2018. — 130 с. Режим доступу:

http://tnr.kpi.ua/images/Methodichki/Pytna_voda.pdf

20. Суть фітореMediaції. Нова екологія. Електронний ресурс. Режим доступу:

<http://www.novaecologia.org/voecos-743-1.html>

References

- Dmitrieva, O.O., Teliura N.O., Vasilenko V.P. (2018). Implementation environmentally safe wastewater as an element of sustainable human settlements development Ukraine. *Municipal Economy of Cities* (7), 174–179. <https://doi.org/10.33042/2522-1809-2018-7-146-174-179> [in Ukrainian]
- Teliura, N.O. (2018). Development of the methodological approach to the selection of technologies for environmentally safe water drainage in populated areas. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies* 6(10-96), 55–63. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2018.148689>
- Teliura, N., Tsapko, N., Khabarova, H., Lomakina, O., Pshenichnova, O., Klochko, T. (2022). Selection Methodology of Ecological Safety Priorities of Sustainable Development Goals of Urban Agglomerations. In: Nechyporuk, M., Pavlikov, V., Kritskiy, D. (eds) *Integrated Computer Technologies in Mechanical Engineering - 2021. ICTM 2021. Lecture Notes in Networks and Systems, Springer, Cham*. 367, 941–950. https://doi.org/10.1007/978-3-030-94259-5_73
- Kraynyukov O., Kuzmina I. (2019). The use of bioplateau structures for wastewater treatment in small settlements// *Scientific journal "Young Scientist". Biological sciences*. No. 7(71). <https://molodyivchenyi.ua/index.php/journal/article/view/3216>
- Ellen L. Arthur , Pamela J. Rice , Patricia J. Rice , Todd A. Anderson , Sadika M. Baladi , Keri L. D. Henderson & Joel R. Coats (2005) *Phytoremediation—An Overview, Critical Reviews in Plant Sciences*, 24:2, 109-122, DOI: 10.1080/07352680590952496
- Francisco A.Comína Ricardo Sorandoa Nadia Darwiche-Criadob Mercedes Garcíaa Adriá Masipc (2014) A protocol to prioritize wetland restoration and creation for water quality improvement in agricultural watersheds. *Ecological Engineering*, 66, 10-18 DOI <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2013.04.059> Get rights and content
- Jos T.A. Verhoeven (2014), Wetlands in Europe: Perspectives for restoration of a lost paradise, *Ecological Engineering*, Volume 66, Pages 6-9, DOI <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2013.03.006>.
- Sumiahadi A., Acar R. A (2018) Review of phytoremediation technology: heavy metals uptake by plants // *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. — IOP Publishing, — T. 142. — №. 1. — С. 012023.
- Ghanem H., Chalak L., Baydoun S. (2019). Phytoremediation of Lebanese polluted waters: a review of current initiatives // *MATEC Web of Conferences*. — EDP Sciences, — T. 281.
- Maiga, Y., von Sperling, M. and Mihelcic, J.R. Constructed Wetlands. In: J.B. Rose and B. JiménezCisneros, (eds) *Global Water Pathogen Project*. <http://www.waterpathogens.org> (J.R. Mihelcic and M.E. Verbyla) (eds) *Part 4 Management Of Risk from Excreta and Wastewater* <http://www.waterpathogens.org/book/constructed-wetlands> Michigan State University, E. Lansing, MI, UNESCO.
- Decision support system for the long-term city metabolism planning problem (2015)/ Morley M. S., Vitorino D., Behzadian K., Ugarelli R., Kapelan Z., Coelho S. T., Do Céu Almeida M. // *Water Science and Technology: Water Supply*. Vol. 16, Issue 2. P. 542–550. DOI: <https://doi.org/10.2166/ws.2015.1677>.
- Reshetchenko, A.I. (2020). Recommendations for the implementation of noise monitoring of the road network of populated cities. *Municipal utilities of cities. Series "Technical Sciences and Architecture"*, 154, 16–23.
- Teliura, N. O. (2021). Ensuring of an ecological safety of eutrophic water bodies via the implementation of priority water disposal technologies in settlements. *Wissenschaft für den modernen Menschen: innovative technik und technologie, informatik sicherheitssysteme, verkehrsentwicklung, architektur: monografische reihe «Europäische Wissenschaft»*. Karlsruhe. Germany: *ScientificWorld-NetAkhataV*, 4, 10-19.
- Saati, T.L. (1993). Decision making. Method of analysis of hierarchies : trans. with English. Translator RG Vachnadze. Moscow: Radio and Communication, 314.
- Teliura N.O. (2019). Improving the environmental safety of eutrophied water bodies through the implementation of priority technologies for drainage in populated areas [Text]: dis. ... Cand. tech. Sciences: 21.06.01 / NO Telur. Kharkiv, 190 p.
- Reshetchenko A. I., Teliura N. O., Lomakina O. S. (2022). Justification of technical and economic solutions to increase the ecological safety of urban systems *Communal management of cities. Vol. 3. No. 170*. P. 62–70 DOI 10.33042/2522-1809-2022-3-170-62-70 <https://khg.kname.edu.ua/index.php/khg/article/view/5952/5870>
- Ecology-Law-Human. Examples of economical use of water in agriculture. Electronic resource. <http://epl.org.ua/human-posts/prykłady-oshhadlyvogo-vykorystannya-vody-v-silskomu-gospodarstvi/>
- Nanofiltration in drinking water supply (2021). / V.V. Honcharuk, A.A. Kavytskaya, M.D. Skilskaya // *Water chemistry and technology*. Vol. 33, No. 1. P. 63-94. Electronic resource. <http://dspace.nbuv.gov.ua/handle/123456789/130617>
- Technology and equipment for obtaining drinking and technical water: Physico-chemical bases and calculation algorithms of water treatment processes(2018)./ N.M. Tolstopalova, A.L. Kontsevoi, I.V. Kosogina, S.A. Terminal; KPI named after Igor Sikorsky. Kyiv: KPI named after Igor Sikorskyi, 130 p. Access mode: http://tnr.kpi.ua/images/Methodichki/Pytna_voda.pdf
- The essence of phytoremediation. New ecology. Electronic resource. <http://www.novaecologia.org/voecos-743-1.html>

Рецензент: д-р техн. наук проф. О. В. Савцова, Харківський національний університет міського господарства імені О.М. Бекетова, Україна.

Автор: ТЕЛІУРА Наталя Олександрівна
кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри
інженерної екології міст
Харківський національний університет міського
господарства імені О.М. Бекетова
E-mail – nata.teliura@ukr.net
ID ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-0732-7789>

Автор: ЛОМАКІНА Ольга Сергіївна
старший викладач кафедри інженерної екології
міст
Харківський національний університет міського
господарства імені О.М. Бекетова
E-mail – oslomakina@ukr.net
ID ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-3908-4638>

WAYS OF IMPROVING THE ENVIRONMENTAL SAFETY OF URBANIZED AREAS: TECHNOLOGIES AND INNOVATIONS

N. Teliura, O. Lomakina

O. M. Beketov National University of Urban Economy in Kharkiv, Ukraine

The paper describes a technique for identifying appropriate environmental technology options for populated areas. Based on the method of analysis of hierarchies (MAI), a methodical approach for determining the priority technologies of phytoremediation for the treatment of various types of wastewater from settlements has been developed. The developed approach makes it possible to involve experts in environmental, urban planning, social, and economic direction of municipal management bodies of a specific settlement, industrial, residential, and military facilities, where the construction of treatment facilities is planned, to justify decisions in the management of environmental safety of surface water bodies located near the specified settlements.

According to the developed approach, criteria formulated as influencing groups of factors reflecting: input and output parameters of the cleaning system were proposed and used; circumstances that exist in the place where treatment facilities are planned to be built, and requirements that directly relate to phytoremediation technologies. Relevant experts, relying on various types of information (data of direct measurements, statistical and predictive estimates) on the specific purpose and location of treatment facilities, give their own judgments regarding the priority of the advantages of the specified criteria. Expert judgments are processed according to the formal procedure of the MAI, which is implemented on a computer, and is the basis for decision-making when choosing the priority technology of phytoremediation in specific conditions.

The multi-criteria hierarchical structure of phytoremediation technology selection is represented by a sequence of actions that include the following stages: development of elements of a methodical approach; verification of the consistency of the proposed hierarchical structure for determining priority technologies based on the input data of several objects of settlements; obtaining data on the priority of phytoremediation technology for implementation on these objects. The advantages of the proposed methodical approach should include the possibility to link to a single algorithm for the justification of the required decision data that differ both in their content (ecological, biological in terms of higher aquatic plants, urban planning, social and economic) and in the form of presentation (data of direct measurements, statistical and predictive estimates).

Keywords: *environmental safety, system approach, technologies, tools and ecological and economic aspects of environmental protection activities, environmental quality, processing of eco-data, regulatory framework.*