









ORIGINAL PAPER

First year of floodplain forest restoration at the bottom of the former Kakhovka reservoir

Yakiv P. DIDUKH^{1,2}  | Anna A. KUZEMKO^{1,4}  |
 Oleksandr Ye. KHODOSOVTSSEV^{1,3,4,5}  | Olha O. CHUSOVA¹  |
 Liubov M. BORSUKEYVYCH⁶  | Nadiia O. SKOBEL^{3,7}  |
 Tatiana I. MIKHAILYUK¹  | Ivan I. MOYSIYENKO^{3,4,5} 

Affiliation

¹M.G. Kholodny Institute of Botany NASU, Kyiv, Ukraine

²Institute for Evolutionary ecology NAS Ukraine

³Kherson State University, Ivano-Frankivsk, Ukraine

⁴Falz-Fein Biosphere Reserve “Askania Nova”

⁵Kamiasnska Sich National Natural Park

⁶Ivan Franko National University, Lviv, Ukraine

⁷University of Warsaw, Poland

Correspondence

Ivan Moysiienko, e-mail: ivan.moysiienko@gmail.com

Funding information

American people through the USAID in the framework of the Human Rights in Action Program implemented by Ukrainian Helsinki Human Rights Union

National Research Foundation of Ukraine (project 2022.01/0121)

European Union’s Horizon 2020 Research and Innovation (№ 871072)

Co-ordinating Editor

Viktor Shapoval

Data

Received: 25 August 2024

Revised: 15 September 2024

Accepted: 30 September 2024

e-ISSN 2308–9628

doi: 10.32999/ksu1990-553X/2024-20-3-5



ABSTRACT

Question: How did the floodplain forests develop at the bottom of the former Kakhovka reservoir during the first year of their existence?

Location: Kakhovka Reservoir, Kherson and Zaporizhzhia regions, Ukraine

Materials and methods: field research, vegetation sampling with biodiversity plot methodology (Dengler et al. 2016), biomass and size measurement (Pérez-Harguindeguy et al. 2016)

Nomenclature: POWO 2024, Mucina et al. 2016, Dubyna et al. 2019, Guiry & Guiry 2024

Results: On the territory of the former Kakhovka reservoir, six nested plot series were established in the thickets dominated by willows and poplars. *Salix × rubens* is the most common species in the overgrowth of the former Kakhovka reservoir land. The average density of *S. × rubens* seedlings in the first weeks of their formation reached 90 individuals per 1 m². In the autumn of 2023, it decreased by 4 times, but their cover increased by dozens times. This was due to the extremely rapid growth of *S. × rubens* – in the first year the growth rate was about 2.3 cm per day. In autumn, the average height of the willow thickets was about 2 m, with a maximum measured height of 3,09 m. At the same time, branching was observed on some shoots, which is identified as an immature stage of development. In the second year, *S. × rubens* individuals enter the virgin stage, when the height of willows in moist, rich conditions averaged almost 3,5 m and reached a maximum of 4,7 m. The development of *Populus nigra*, which mostly grows on dry sandy sediments, is slower and the height and branching of shoots are lower. In the first year, the biomass of *S. × rubens* exceeded the known values for three-year-old energy willow. A total of 87 species, included 79 – vascular plants, 6 – algae and 2 – mosses were recorded in the six monitoring plots. The average number of species in the annual community was 28 plant species per 100 m².

Conclusions: Our field studies have shown that habitat type G1.11 Riverine *Salix* woodland, which is protected under Resolution 4 of the Bern Convention and has a high conservation, ecological, economic and recreational value, was forming extremely rapidly and on a large area on the bottom of the former Kakhovka reservoir. This raises the question of the economic feasibility, morality and legality of the possible destruction of this habitat in the event of the future reconstruction of the Kakhovka reservoir, as such proposals are not only constantly being voiced from various sides, but also certain decisions are being made at the level of the Ukrainian government without any analysis of possible alternatives, thorough calculation of environmental consequences and economic justification.

KEYWORDS

biodiversity, monitoring plots, willow and poplar thickets, war, Ukraine.

CITATION

Didukh, Ya.P., Kuzemko, A.A., Khodosovtsev, O.Ye., Chusova, O.O., Borsukevych, L.M., Skobel, N.O., Mikhailyuk, T.I. & Moysiienko, I.I. (2024). First year of floodplain forest restoration at the bottom of the former Kakhovka reservoir. *Chornomorski Botanical Journal* 20 (3): 305–326. doi: 10.32999/ksu1990-553X/2024-20-3-5

ВСТУП

Підрив дамби Каховської ГЕС є одним з найбільших злочинів російських окупантів в Україні, який має катастрофічні наслідки і для населення, і для природи регіону Північного Причорномор'я. Висувалося багато негативних сценаріїв розвитку подій на дні та навколо колишнього Каховського водосховища. Зокрема, звучали тези про перетворення цієї території та прилеглих районів Півдня України на пустелю і виникнення пилових бур після висихання водосховища, які піднімуть у повітря забруднені важкими металами мули з його дна (Vyshnevsky et al. 2023). Активно обговорювалася можливість заростання водосховища інвазійними чужорідними видами рослин. Натомість на значних територіях дна колишнього водосховища відбулося швидке і масштабне формування вербово-тополевих заростей, що викликало значний суспільний резонанс щодо їх подальшого розвитку і значимості.

У світовій науковій літературі приділяється велика увага питанням природоохоронної цінності, екологічному, господарському, рекреаційному значенню вербово-тополевих лісів. Верба вважається одним з кращих видів для швидкого відновлення природних екосистем. Основні екологічні характеристики, які визначають придатність *Salix* для відновлення порушених екосистем, – легкість генеративного та вегетативного розмноження, інтенсивний ріст і продуктивність, особливо на молодих стадіях розвитку, енергійне відновлення з порослевих пнів та коренів після рубок, пожеж (Carlson 1950, Gray & Sotir 1996, Ceulemans et al. 1996, Philippot 1996); найвищу серед деревних рослин здатність перетворювати сонячне випромінювання в хімічну енергію за певних кліматичних умов (Christersson et al. 1993, Wilkinson 1999); високі показники випаровування протягом вегетаційного періоду (Persson & Lindroth 1994, Lindroth et al. 1995, Ledin 1998, Ebbs et al. 2003), інтенсивне поглинання вуглекислого газу, продукування кисню, що протидіє глобальним змінам клімату. Згідно з даними (Sinchenko et al. 2015), лише 1 г листя верби транспірує у повітря 0,8–2,55 г води і фотосинтезує 21,7–59,2 мг/дм²/годину, тобто має велике кліматорегулююче значення.

Ґрунотвірна роль цих лісів зумовлена формуванням розгалуженої кореневої системи з наявністю великої кількості тонких коренів, що сприяє структуризації та очищенню ґрунтів від забруднення (Gray & Sotir 1996, Rytter & Hansson 1996); ефективному засвоєнню поживних речовин (Ericsson 1981, Elowson 1999); здатності очищувати воду від евтрофікації, накопичувати азотні, фосфорні сполуки, важкі метали, токсичні метали, особливо кадмій (Eltrop et al. 1991, Sennerby-Forsse et al. 1993, Punshon & Dickinson 1997, Aronsson & Perttu 2001, Klang-Westin & Eriksson 2003, Mohsin et al. 2021). Стійкість верби до деяких металів (Cd, Cu, Zn, Ni, Pb, Fe) та здатність накопичувати значну їх кількість у рослинних тканинах була задокументована та запропоновано можливе використання верб для адсорбції металів, зокрема кадмію (Dickinson et al. 1994, Landberg & Greger 1994, Punshon & Dickinson 1997, Ali et al. 1999, 2003, Greger & Landberg 1999, Robinson et al. 2000, Klang-Westin & Perttu 2002, Keller et al. 2003, Watson et al. 2003, Kuzovkina et al. 2004). У літературі наявні дані щодо здатності очищати ґрунт від нафтопродуктів, оскільки коріння вербових насаджень пов'язане з мікроорганізмами, розвиток яких стимулює руйнування нафти (Thompson 1998, Vervaeke et al. 2003). Відмічається стійкість верб до затоплення, можливість живи на перенасичених водою ґрунтах в умовах дефіциту кисню в кореневій зоні, резистентність до підвищеної концентрації вуглекислого газу та метану (Krasny et al. 1988, Jackson & Attwood 1996, Maurice et al. 1999, Aronsson & Perttu 2001, Kuzovkina & Quigley 2005). Здатність верби транспортувати кисень до кореневої зони через утворення аеренхіми може сприяти створенню кращих умов для росту бактерій (Maurice et al. 1999, Kuzovkina & Quigley 2005). Деякі види верб вважаються посухостійкими, толерантними до зволоження і стійкими до помірного засолення (Gray & Sotir 1996, Hightshoe 1998, Kuzovkina & Quigley 2005, Fuchilo & Sbytna 2009). При цьому відмічається, що вербові насадження не лише знижують евтрофікацію, а,

формууючись на ділянках, забруднених стічними водами, характеризуються збільшенням біомаси у 5–7 разів (Kowalik & Randerson 1994, Labrecque et al. 1995). Велика кількість підстилки підвищує вміст гумусу в ґрунті, а висока ефективність поглинання поживних речовин та води протягом вегетаційного періоду, завдяки хорошому проникненню коренів у ґрунт, сприяє ґрунтоутворенню і забезпеченню ефективного функціонування заплавних екосистем в різкозмінних умовах (Ledin 1998). Вербово-тополеві ліси чутливо реагують на сезонні динамічні процеси, протидіють негативним руйнівним наслідкам, забезпечують стабілізацію заплавних екосистем. Вони відіграють важливу роль у функціонуванні процесів, які відбуваються у межах катени від плакору до заплави, зокрема транзиті, регуляції та акумулюванні речовино-енергетичних потоків (Didukh et al. 2015).

Заплавні лісові біотопи мають велике значення у забезпеченні консортивних зв'язків, трофічних ланцюгів між продуцентами та консументами і редуцентами, як продукти харчування різноманітних організмів (Sommerville 1992, Hightshoe 1998). Існують дані про багату фауну комах (до 450 видів), пов'язану з вербами (Kennedy & Southwood 1984). Вербові насадження характеризуються найбільшою кількістю птахів (приблизно 60 видів) серед усіх досліджених типів біотопів та підтримують високу щільність їх розмноження (Berg 2002). Вербові насадження мають високу рекреаційну цінність (Kuzovkina & Quigley 2005).

Слід згадати ідею щодо використання верби як біопалива, яке являє собою екологічно перспективний енергетичний ресурс, що сприяє зниженню рівня парникових газів, кислотних дощів, ерозії ґрунту, забруднення води, забезпечує зменшення залежності від викопного палива та покращення сільської економіки (Vandenhove et al. 2001). У Канаді, США та кількох країнах Європейського співтовариства (Швеція, Данія, Фінляндія та Велика Британія) розробляються національні програми та дослідницькі проекти, спрямовані на максимізацію продуктивності, відбір нових кращих клонів, придатних для багаторазового збирання та стійких до шкідників, а також на розробку методів управління для сталого сільського господарства з використанням верби (Abrahamson et al. 1998, Kopp et al. 2001, Keller et al. 2003, Kuzovkina & Quigley 2005, Amitabh 2016). Верби, які культивуються в Швеції для отримання біоенергії, виробляють до 35 тонн/га на рік за сприятливих умов (Greger & Landberg 1999), а в Канаді зареєстровано найвищі показники деревної біомаси *S. viminalis* (Labrecque & Teodorescu 2003). Енергетичні плантації верби створюють нові середовища існування для диких тварин завдяки збільшенню складності ландшафту та зменшенню інтенсивності культивування та використання пестицидів, через що вони можуть бути запропоновані як альтернатива інтенсивному управлінню сільськогосподарськими угіддями, щоб зупинити збіднення біорізноманіття сільськогосподарських угідь у Європі (Sage 1998, Berg 2002).

У систематичному відношенні верби є складним об'єктом, оскільки види гібридизують між собою і, по суті, оцінка «чистоти» видів піддається сумніву. Задовго до того, як вчені дізналися про здатність верб утворювати гібриди, багатьом їх відмінам було присвоєно специфічні назви. Дуже поширеним гібридом є *Salix* × *rubens* Schrank, 1789, Vaier Fl. 1: 226 (*S. fragilis* × *S. alba*), який виявився також одним з найбільш часто культивованих деревних гібридів верб у Європі. Відповідно до результатів численних спостережень, проведених різними дослідниками в помірних регіонах Європи, «чиста» *S. fragilis* зустрічається переважно по берегах гірських річок, але набагато рідше, ніж її гібриди з *S. alba* (Skvortsov 1999). Аналіз літератури свідчить, що в багатьох випадках вказівки *S. fragilis* виявилися гібридами. Зокрема, існують відомості, що лише десята частина гербарних зборів представлена «чистою» *S. fragilis* (Beliaieva 2009).

Враховуючи вищезазначене, у науковому відношенні актуальними є питання онтогенетичних змін морфології верб, формування ценотичної структури біотопів,

участі в них природних і адвентивних видів на величезних площах дна Каховського водосховища, гідрологічний режим якого з часом зазнаватиме значних змін. Всі ці наукові аспекти, екологічне і практичне значення заплавної вербових та тополевих біотопів свідчать про високу їх цінність і потребують глибоких комплексних моніторингових досліджень. Отже, метою нашої роботи є фіксація та аналіз початкових стадій формування угруповань з домінуванням верби і тополі, зокрема їхньої структури, морфометричних параметрів, біомаси та видового флористичного складу на дні колишнього Каховського водосховища.

МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Матеріали для дослідження отримані у ході чотирьох польових виїздів у 2023–2024 роках на території Херсонської та Запорізької областей. Дослідження видового складу та проєктивного покриття рослин, у тому числі і проростків, здійснювалося на постійних моніторингових ділянках площею 100 м² за методологією вкладених «гніздових» ділянок біорізноманіття (Dengler et al. 2016). Серед 12 моніторингових ділянок, закладених для дослідження динаміки сукцесійних процесів, результати наведені для 6 із них, на яких при перших або повторних дослідженнях переважали верба або тополя (FIGURE 1). Постійні моніторингові ділянки закладені нами в різних умовах. Ділянки KSA02 та KSA03 в Національному природному парку «Кам'янська Січ» на Херсонщині закладені на мулистих ґрунтах. У обох цих ділянках при повторному дослідженні виявлений *S. × rubens*. Ділянки KR0524_8 та KR0524_10 із домінуванням *S. × rubens* в Запорізькій області також закладені на мулистих ґрунтах. Натомість дві ділянки з домінуванням *Populus nigra* (KR0524_5 та KR0524_6) розташовані на прибережних піщаних відкладах. З шести ділянок три закладені у прибережній частині основного ложа колишнього Каховського водосховища, дві – в затоці Каховського водосховища, яка була сформована унаслідок затоплення Милівської балки, і одна – в пресохломому Головківському озері на острові Хортиця (TABLE 1).



РИСУНОК 1. Моніторингова ділянка KSA02: а – 30 червня 2023 року, б – 19 жовтня 2023 року. Фото О. Ходосовцева.

FIGURE 1. Monitoring plot KSA02: a – 30 June 2023 року, б – 19 October 2023 року. Photo by O. Khodosovtsev.

ТАБЛИЦЯ 1. Постійні моніторингові ділянки з переважанням верби та тополі в межах колишнього Каховського водосховища

TABLE 1. Permanent monitoring plots dominated by willow and poplar within the former Kakhovka reservoir

№ з/п	№ ділянки	Розташування	Локалітет	Дата	Координати
1.	KSA02 (угруповання <i>S. × rubens</i>)	Херсонська обл., Бериславський р-н, окол. с. Милове	НПП «Кам'янська Січ», Милівська балка, мул з мушлями	30.06.2023 19.10.2023	47.085360° N 33.651933° E
2.	KSA03 (угруповання <i>S. × rubens</i>)	Херсонська обл., Бериславський р-н, окол. с. Милове	НПП «Кам'янська Січ», Милівська балка, мул	30.06.2023 19.10.2023	47.084713° N 33.643006° E
3.	KR0524_5 (угруповання <i>P. nigra</i>)	Запорізька обл., о. Хортиця, окол. с. Овочеводів	Заплава Дніпра, пісок	21.05.2024	47.812604° N 35.142275° E
4.	KR0524_6 (угруповання <i>P. nigra</i>)	Запорізька обл., о. Хортиця, окол. с. Овочеводів	Заплава Дніпра, пісок	21.05.2024	47.811655° N 35.143676° E
5.	KR0524_8 (угруповання <i>S. × rubens</i>)	Запорізька обл., о. Хортиця	Оз. Голоківське, мул	21.05.2024	47.791447° N 35.145628° E
6.	KR0524_10 (угруповання <i>S. × rubens</i> з <i>S. alba</i>)	Запорізька обл., с. Малокатеринівка	Заплава Дніпра, мул	22.05.2024	47.652709° N 35.247900° E

Підрахунок кількості особин верби та тополі, вимірювання їхньої висоти та відбір зразків для обрахунку біомаси проводився на облікових ділянках площею 16 м², які обиралися всередині постійних моніторингових ділянок. Для оцінки показників надземної біомаси дерев нами було відібрано 31 зразок *S. × rubens* та 10 зразків *P. nigra* середньої висоти, які зрізалися на рівні ґрунту. Визначення біомаси проводили в лабораторії Інституту ботаніки ім. М.Г. Холодного НАН України. Зібрані зразки верб та тополь розділялись на три фракції: стовбур, гілки та листки. Кожна фракція зважувалась окремо у свіжому вигляді та у висушеному для оцінки вмісту сухої речовини. Висушування проводилось у сухожаровій шафі протягом 72 годин при температурі 70° відповідно до методики оцінки вмісту сухої речовини в листях та питомої щільності стебла (Pérez-Harguindeguy et al. 2013). Назви таксонів судинних рослин наведені за POWO (2024). Назви синтаксонів високого рангу – за Mucina et al. (2016), назви асоціацій – за Dubyna et al. (2019).

Водорості були досліджені прямим мікроскопіюванням із використанням традиційних методів збору та постановки культур на агаризованому середовищі Болда (1N BBM) (Bischoff & Bold 1963). Культури вирощували в стандартних лабораторних умовах, з 12-годинним чергуванням світлової та темної фаз і освітленням 25 мкмоль фотонів • м⁻² • с⁻¹ при температурі +20 ± 5 °C. Ідентифікація та морфологічні дослідження виконані за допомогою світлового мікроскопа Olympus BX51. Назви таксонів та систематичне положення видів водоростей і ціанобактерій наведено за AlgaeBase (Guiry & Guiry 2024).

Через суттєве зростання небезпеки для цивільних осіб, зумовлене постійними обстрілами росіян та небезпеку атаки дронами, ми не змогли продовжити моніторинг на постійних моніторингових ділянках на території Національного природного парку «Кам'янська Січ» у 2024 році.

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Первинне заростання мулистих субстратів. Вербові зарості на дні Каховського водосховища, в першу чергу, приурочені до відкладів мулу по тальвегу балок. Мулисті відклади під час висихання піддаються глибокому розтріскуванню. Як наслідок, у міру висихання дна колишнього водосховища сформувалися такироподібні субстрати з характерною фрактальною структурою (FIGURE 2 a, b). 30 червня 2023 року глибина та ширина тріщин на ще вологих субстратах складала від 3 до 25 см та від 0.5 до 4 см відповідно (TABLE 2, FIGURE 2 a, b). Причому глибина тріщин збільшувалася у напрямку до центру водойми, де були розташовані ділянки з найбільшою товщею мулів. Плити розтрісканого мулистого субстрату мали у середньому 43 см завширшки. Вони були вкриті переважно кірками ґрунтових водоростей з бідним видовим складом, майже виключно складеним ціанобактеріями. Серед зелених водоростей було відмічено лише космополіт *Chlorella vulgaris*. Домінували тонконитчасті ціанобактерії *Phormidium takyricum* (FIGURE 2 c, d) та *Stenomitos* sp. Через 3,5 місяці середня глибина тріщин та їхня ширина збільшилися у 7 разів, проте ширина плит між ними зменшилася лише вдвічі. Така структура свідчить про інтенсивне усихання щільного, в'язкого субстрату і недостатню кількість опадів протягом сезону.

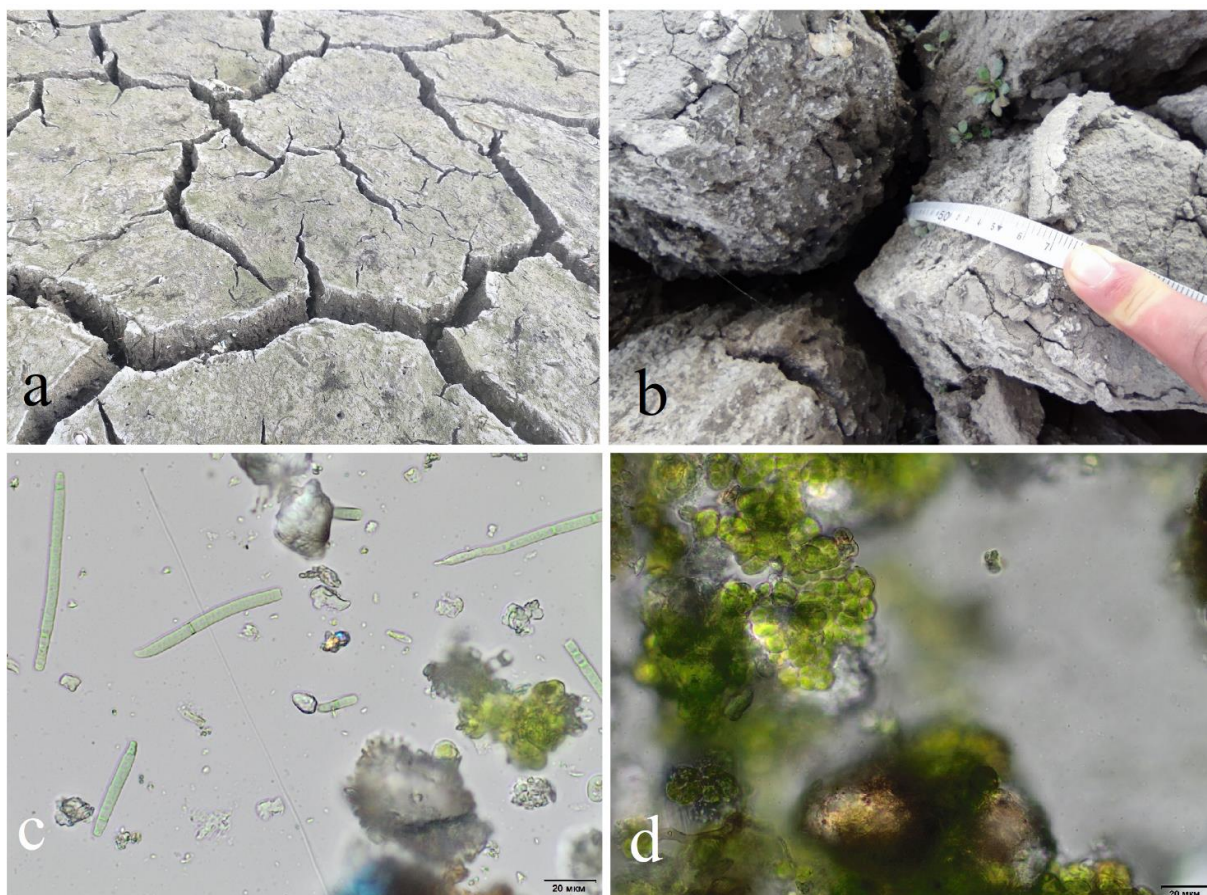


РИСУНОК 2. а–b (моніторингова ділянка KSA03): зміна морфології такироподібних субстратів у Милівській балці, а – 30 червня 2023 року, б – 19 жовтня 2023 року; с–d: домінуючі водорості на поверхні такироподібних субстратів виявлені при прямому мікроскопіюванні кірок серед часточок мулу, с – трихоми *Phormidium takyricum* (проба від 30 червня 2023, моніторингова ділянка KSA02), d – таломи *Chlorosarcinopsis* cf. *aggregata* (проба від 22 травня 2024, моніторингова ділянка KR0524_10). а–b фото – О. Ходосовцев, с–d – фото Т. Михайлюк.

FIGURE 2. a–b (monitoring plot KSA03): changes in the morphology of takyr-like substrates in the Mylivska Gully, a – June 30, 2023, b – October 19, 2023; c–d: Predominant algae on the surfaces among the sediment components of the takyr-like substrates observed by direct microscopy of the crust, c – trichoms of *Phormidium takyricum* (sample of 30 June 2023, plot KSA02), d – thalli of *Chlorosarcinopsis* cf. *aggregata* (sample of 22 May 2024, plot KR0524_10). a–b photos by O. Khodosovtsev, c–d photos by T. Mikhailyuk.

ТАБЛИЦЯ 2. Динаміка морфології такироподібних субстратів у Милівській балці

TABLE 2. Dynamics of the morphology of takyr-like substrates in the Mylivska gully

Ділянка KSA03	Глибина тріщин, см	Ширина тріщин, см	Ширина ділянок, см
30 червня 2023 [n=30]	(3–)11 ± 6 (–25)	(0.5–) 1.5 (–4)	(15–) 43 ± 4 (–70)
19 жовтня 2023 [n=30]	(35–)70 ± 7 (–118)	(2–)8.5 ± 2 (–14)	(10–) 24 ± 6 (–42)

Суттєве висихання та розтріскування мулистих субстратів зумовило зміну способу заростання їх восени порівняно з літом. Первинне раннє заростання слабо розтрісканих субстратів, яке ми спостерігали в червні, відбувалося на поверхні плит і в основному вербами. Такироподібні субстрати, які з'явилися після висихання водойм восени 2023 року, заростали виключно по тріщинах між плитками. Причому заростання відбувалося переважно трав'янистими рослинами, такими як *Atriplex prostrata*, *Lactuca tatarica*, *Phragmites australis* тощо.

Таксономія верб. Вербові насадження, що формуються на ділянках південної частини Каховського водосховища, представлені переважно гібридом між вербою білою (*Salix alba*) та вербою ламкою (*S. fragilis*), яка найчастіше згадується в літературі під назвою *Salix × rubens* Schrank. Особини, які достовірно належать до *S. alba*, представлені лише на одній моніторинговій ділянці (KR0524_10) на дні колишнього Каховського водосховища в околицях с. Малокатеринівка. Також серед заростей дорослих верб у Милівській балці були виявлені особини *S. alba*, тому, ймовірно, *S. alba* може бути представлена і на дні осушених балок.

Чисельність, морфометрія та біомаса *Salix × rubens* та *Populus nigra*. Через три тижні після відходу води на моніторингових ділянках у Національному природному парку «Кам'янська Січ» (KSA02 та KSA03), що представляли собою такироподібні субстрати, нами були зафіксовані проростки *Salix* spp. на стадії сім'ядольних листків, а іноді із зачатками перших перехідних листків (FIGURE 3a). Їхня висота не перевищувала 0,5 см над рівнем ґрунту.

Часто молоді рослини утворювали видовжені лінії, які корелювали з лінією тимчасових урізів води при її відходженні. Їхня щільність досягала у середньому 90 ± 20 особин на 1 м², або 900 тис. особин на 1 га (TABLE 3). Тобто цю короткочасову, практично місячну стадію ми розглядаємо як ювенільну. На мушлях, вапнякових відслоненнях або на постійних перезволожених водотоках (русло річки Кам'янка), проростки *Salix* spp. не відмічалися. Через 3,5 місяці на тих самих ділянках (KSA02 та KSA03) середня чисельність особини *Salix × rubens* зменшилася у чотири рази і становила у середньому 23 ± 6 особин на 1 м² або 230 тис. особин на 1 га (FIGURE 3 b, c, d, TABLE 3). Восени середня висота вербових заростей була близько 2 метрів (1,90 м ± 5) при максимально заміряній висоті – 3,09 м (FIGURE 3 e, TABLE 4). При цьому, на окремих пагонах спостерігалось галуження, що ідентифікується як віргінільна стадія розвитку.

ТАБЛИЦЯ 3. Кількісні показники щільності пагонів *Salix × rubens* на території Національного природного парку «Кам'янська Січ»TABLE 3. Quantitative characteristics of shoot density of *Salix × rubens* on the territory of the “Kamianska Sich” National Nature Park

	Висота, см	Кількість на 1 м ² , шт.	Середня кількість на 1 га, тис. шт.
30 червня 2023	0,5	90 ± 20 [n = 8]	900
19 жовтня 2023	190 ± 5 [n = 30]	23 ± 6 [n = 3]	230



РИСУНОК 3. Формування угруповань за участю *Salix × rubens*: а – проростки *S. × rubens* (30 червня 2023 року моніторингова ділянка KSA03); б – заростання *S. × rubens* такироподібних субстратів (19 жовтня 2023 року, моніторингова ділянка KSA03); с – верболози на такироподібних субстратах (19 жовтня 2023 року, моніторингова ділянка KSA03); д – верболози на черепашкових субстратах (19 жовтня 2023 року, моніторингова ділянка KSA02); е – одна з заміряних особин *S. × rubens* 274 см завдовжки (19 жовтня 2023 року, моніторингова ділянка KSA03); ф – листок *S. × rubens*, уражений *Melampsora allii-fragilis* (19 жовтня 2023, моніторингова ділянка KSA03).

FIGURE 3. Formation of communities with the participation of *Salix × rubens*: a – *S. × rubens* seedlings (June 30, 2023, monitoring plot KSA03); b – *S. × rubens* overgrowth on takyr-like substrates (October 19, 2023, monitoring plot KSA03); c – willow thickets on takyr-like substrates (October 19, 2023, monitoring plot KSA03); d – willow thickets on shell substrates (October 19, 2023, monitoring plot KSA02); e – one of the measured *S. × rubens* individuals is 274 cm long (October 19, 2023, plot KSA03); f – leaf of *S. × rubens* infected by *Melampsora allii-fragilis* (October 19, 2023, monitoring plot KSA03).

На другому році розвитку рослини *S. × rubens* переходять у віргінільну стадію, коли висота верб у вологих багатих умовах досягла $347,91 \pm 32,05$ см (максимальна – 470 см), а на сухих бідних піщаних субстратах лише $208,2 \pm 22,5$ см (TABLE 4). При цьому швидкість росту *Populus nigra*, що росте на сухіших бідних піщаних відкладах, значно менша ($124,9 \pm 11,6$ – $201,4 \pm 16,2$ см) (TABLE 5). Приріст пагонів деревних видів на другому році вегетації до кінця квітня 2024 року становив близько третини від минулорічного приросту, але залежав від умов зволоження та багатства субстрату (TABLE 4, 5). У процесі росту та галуження пагонів спостерігається формування крони. Уже на початку другого вегетаційного сезону кількість бічних гілок збільшується і спостерігається галуження другого порядку (TABLE 4). При цьому відбувається уже відмирання деяких минулорічних гілочок. Натомість розвиток *P. nigra* на сухих піщаних відкладах відбувається повільніше і показники висоти та інтенсивності галуження пагонів нижчі (TABLE 6).

ТАБЛИЦЯ 4. Кількісні показники структури пагонів *Salix × rubens* за даними 19.10.2023 та 21–22.05.2024

TABLE 4. Quantitative characteristics of the shoot structure of *Salix × rubens* based on the data of 19.10.2023 and 21–22.05.2024

№ зразка	Кількість гілок				Висота пагонів, см		Загальна висота у 2024 р., см
	2023 р.		2024 р.	Сумарна кількість за 2023–2024 рр.	2023 р.	Приріст за 2024 р.	
	Відмерлі	Живі					
1	11	40	15	44	287	53	340
2	1	12	18	20	248	95	343
3	11	15	21	25	252	85	337
4	-	1	17	17	141	73	214
5	3	27	7	26	199	75	274
6	5	30	14	39	168	96	264
7	8	35	18	45	293	80	373
X	5	22,86	15,71	30,86	226	79	306
SD	3,86	12,91	4,13	10,74	54,36	13,67	52,41

ТАБЛИЦЯ 5. Кількісні показники структури пагонів *Populus nigra* за даними досліджень 21–22.05.2024

TABLE 5. Quantitative characteristics of the shoot structure of *Populus nigra* based on the data of 21–22.05.2024

№ зразка	Кількість гілок		Висота пагонів, см		Загальна висота за 2023–2024 рр., см
	2023 р.	2024 р.	2023 р.	Приріст за 2024 р.	
1	9	35	102	30	132
2	0	15	82	52	134
3	0	8	92	46	138
4	2	19	96	46	142
5	0	13	74	50	124
6	5	26	101	39	140
7	7	28	114	34	148
8	2	14	85	50	135
9	6	22	94	41	135
10	0	19	106	43	149
X	3	19	94	43	137
SD	2,67	7,65	11,34	6,83	7,12

ТАБЛИЦЯ 6. Показники приросту (середнє значення \pm SD) пагонів *Populus nigra* та *Salix* \times *rubens* станом на 21–22 травня 2024 року в різних умовах вологості та багатства субстратів: 1 – Хортиця, сухі піщані відклади; 2 – Хортиця, вологі піщані відклади; 3 – с. Канівське, сухі піщані відклади; 4 – Хортиця, вологі піщані відклади; 5 – с. Малокатеринівка, вологі мулисті субстрати

TABLE 6. Parameters (min \pm SD) of shoot growth of *Populus nigra* and *Salix* \times *rubens* on the 21–22 May 2024 in different conditions of humidity and substrate nutrients: 1 – Khortytisia, dry sandy deposits; 2 – Khortytisia, wet sandy deposits; 3 – Kanivske village, dry sandy deposits; 4 – Khortytisia, wet sandy deposits; 5 – Malokaterinivka village, wet muddy substrates

№	Загальна висота, 2023–2024 pp.	Приріст за 2023 р.		Приріст за 2024 р.		Відношення 2023 р./2024 р.
	см	см	%	см	%	
<i>Populus nigra</i>						
1	124,87 \pm 11,26	75,27 \pm 4,20	60,15 \pm 94,59	49,60 \pm 7,06	39,85 \pm 5,41	1,57
2	171,43 \pm 13,72	123,65 \pm 1,96	72,17 \pm 93,80	47,78 \pm 11,76	27,83 \pm 6,20	2,75
3	201,39 \pm 16,20	158,22 \pm 7,50	78,40 \pm 95,35	43,17 \pm 8,70	21,60 \pm 4,65	2,00
<i>Salix</i> \times <i>rubens</i>						
4	208,23 \pm 22,51	128,69 \pm 2,18	61,61 \pm 90,40	79,54 \pm 20,33	38,39 \pm 9,60	2,18
5	347,91 \pm 32,05	268,66 \pm 16,50	77,08 \pm 95,22	79,25 \pm 15,55	22,92 \pm 4,78	3,36

Нами були оцінені показники біомаси різних компонентів пагонів *Populus nigra* та *Salix* \times *rubens* та співвідношень між ними (TABLE 7, 8). Співвідношення сухої ваги до свіжого стану для стовбурів становить 0,55, гілок – 0,65, листових пластинок – 0,51. З урахуванням того, що підземна біомаса становить близько 20% від загальної, ми побудували діаграми розподілу біомаси однорічних пагонів верби та тополі (FIGURE 4). Як видно з цих діаграм, біомаса стовбурів однорічних пагонів становить менше половини від загальної, а біомаса гілок, листя та кореневої системи майже однакова. Станом на травень 2024 року, тобто за неповні 12 місяців, біомаса *S.* \times *rubens* складала понад 43 т/га сирової маси та більше 20 т/га сухої речовини.

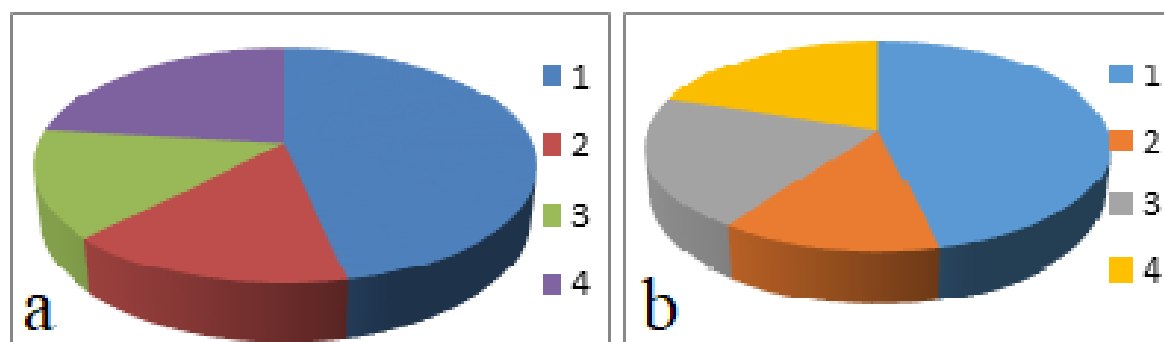


РИСУНОК 4. Співвідношення між показниками біомаси: 1 – стовбур, 2 – гілки, 3 – листки, 4 – коренева система: а – однорічні *Salix* \times *rubens*; б – однорічні *Populus nigra*

FIGURE 4. Proportion between biomass parameters: 1 – trunk, 2 – branches, 3 – leaves, 4 – root system. а – annual *Salix* \times *rubens*; б – annual *Populus nigra*

Видове та ценотичне різноманіття. На ділянках KSA02 та KSA03 30 червня 2023 р. було зафіксовано 8 видів судинних рослин (TABLE 9, 10). Лише один вид, а саме *Salix* \times *rubens*, мав досить значну рясність. Однак через малі розміри проростків *S.* \times *rubens* мала дуже низьке проективне покриття – в середньому 1 %. Інші сім видів судинних рослин були представлені поодинокими проростками і для усіх них зазначено мінімальне проективне покриття – 0,01 %.

ТАБЛИЦЯ 7. Показники біомаси різних органів *Salix × rubens*TABLE 7. Biomass characteristics of different organs of *Salix × rubens*

№ зразка	Висота, см	Вага, г					
		Стовбур		Гілки		Листя	
		жива	суха	жива	суха	жива	суха
1	204	77,02	40,96	21,53	13,23	22,57	11,50
2	177	61,87	38,30	12,84	5,06	30,37	15,09
3	172	78,75	41,53	15,61	8,81	32,55	11,12
4	177	71,56	26,16	13,52	4,95	36,05	10,81
5	180	50,81	44,99	98,42	36,65	89,39	31,65
6	270	337,18	147,45	109,88	60,85	82,55	45,66
7	206	82,27	34,74	27,64	11,67	26,61	9,55
8	155	38,84	23,41	19,45	10,57	24,51	11,53
9	242	145,82	70,31	20,21	14,81	45,38	18,63
10	201	111,91	55,54	57,52	24,20	120,42	32,46
11	188	83,10	43,97	30,81	9,12	74,94	58,69
12	244	206,33	80,69	63,75	38,61	124,40	30,09
13	260	244,98	78,19	75,79	39,35	190,58	52,91
14	170	42,58	22,44	14,31	7,54	16,60	6,97
15	156	11,55	6,09	3,88	2,05	4,50	1,89
16	172	47,02	24,78	15,80	8,33	18,33	7,69
17	195	98,00	51,65	32,93	17,36	38,20	16,03
18	198	104,65	55,16	35,16	18,53	40,79	17,12
19	175	53,67	28,29	18,03	9,50	20,92	8,78
20	172	47,02	24,78	15,80	8,33	18,33	7,69
21	200	109,08	57,50	36,65	19,32	42,52	17,84
22	220	153,41	80,86	51,55	27,17	59,80	25,09
23	210	131,25	69,18	44,10	23,25	51,16	21,47
24	188	82,48	43,48	27,71	14,61	32,15	13,49
25	188	82,48	43,48	27,71	14,61	32,15	13,49
26	250	219,91	115,91	73,89	38,95	85,73	35,97
27	175	53,67	28,29	18,03	9,50	20,92	8,78
28	165	31,50	16,60	10,58	5,58	12,28	5,15
29	168	38,15	20,11	12,82	6,76	14,87	6,24
30	170	42,58	22,44	14,31	7,54	16,60	6,97
31	190	86,91	45,81	29,20	15,39	33,88	14,22
X	195	97,62	47,84	33,85	17,17	47,10	18,53
Σ	30	70,16	29,47	25,95	13,17	39,88	13,99

Восени на тих же моніторингових ділянках було виявлено вже 19 видів судинних рослин (TABLE 9, 10). Ділянка KSA02, яка закладена на схід від дамби у невеликому локальному зниженні, мала суттєво вищі показники видового багатства. Тут відмічено 16 видів судинних рослин, тоді як на ділянці KSA03 відмічено лише 8 видів. Така різниця у видовому складі зумовлена екотонним ефектом, оскільки ділянка KSA02 була закладена у невеликому мулистому зниженні, зайнятому заростями верби, оточеними слабкозарослими черепашковими відкладами, тоді як ділянка KSA03 опинилася посередині великого масиву верби.

В умовах дуже щільних вербових заростей інші види рослин представлені значно слабше. Загальне проективне покриття рослин на моніторингових ділянках станом на 19 жовтня 2023 року складало вже понад 96 %. Левова частка рослинного покриву припадала на зарості *Salix × rubens*. Трав'яний ярус виражений слабо (4–7 %). На двох досліджених ділянках усі особини *S. × rubens* були уражені іржастим грибом *Melampsora allii-fragilis* Kleb. (FIGURE 3f).

ТАБЛИЦЯ 8. Показники біомаси різних органів *Populus nigra*

TABLE 8. Biomass characteristics of different organs of *Populus nigra*

№ зразка	Стовбур		Гілки		Листя	
	сира	абсолютно суха	сира	абсолютно суха	сира	абсолютно суха
1	72	40	18	12	41	21
2	59	34	15	10	24	12
3	64	36	19	11	29	15
4	76	45	27	17	39	20
5	44	25	12	8	27	14
6	80	47	22	15	31	16
7	92	53	31	23	40	20
8	77	38	18	10	29	15
9	60	35	15	11	11	6
10	85	47	26	15	39	20
X	71	40	20	13	31	16
MD	14	0,8	0,6	0,4	0,9	0,5

На чотирьох ділянках у межах Запорізької області було виявлено 73 види рослин, в тому числі 6 видів мікроскопічних водоростей та 2 види мохів – *Marchantia polymorpha* і *Funaria hygrometrica* (TABLE 10). Водоростеві кірки в заростях верби є більш різноманітними, ніж ті, які ми спостерігали у червні 2023 року при первинних стадіях заростання. Крім ціанобактерій, тут з'являються зелені водорості, один із видів (*Chlorosarcinopsis cf. aggregata*) увійшов до складу домінантів (FIGURE 2d). Також нами вперше на території колишнього Каховського водосховища був виявлений вид рослин, що має охоронний статус (включений до Червоної книги України) – *Carex secalina*. Загалом, в шести моніторингових ділянках виявлено 87 видів рослин, включаючи 79 видів судинних рослин, 2 види мохоподібних та 6 видів водоростей. Враховуючи, що усі описані угруповання на момент обстеження існували менше одного року, різноманіття рослин у них є досить високим.

ТАБЛИЦЯ 9. Кількість видів судинних рослин, мохоподібних та водоростей у вербово-тополевих заростях на дні колишнього Каховського водосховища

TABLE 9. Number of vascular plants, bryophytes and algae in willow and poplar thickets at the bottom of the former Kakhovka reservoir

Тип угруповання	Систематична група рослин	Кількість видів за сезонами дослідження		
		30.06.2023	19.10.2023	22-23.05.2024
Угруповання <i>Salix × rubens</i>	Судинні рослини	8 – KSA02, KSA03	19 – KSA02, KSA03	30 – KR0524_8, KR0524_10
	Мохоподібні	–	–	2 – KR0524_8, KR0524_10
	Водорості	4 – KSA02	*	6 – KR0524_10
Угруповання <i>Populus nigra</i>	Судинні рослини	–	–	50 – KR0524_5, KR0524_6
	Мохоподібні	–	–	–
	Водорості	*	*	*

Примітки: * – водорості не досліджувалися.

ОБГОВОРЕННЯ

Після підриву дамби Каховської ГЕС внаслідок катастрофічного виходу води з Каховського водосховища та його осушення відкрилися значні площі мулистих та черепашкових, рідше піщаних відкладів. З перших же днів після осушення ці відклади стали активно заростати. Вже за перший вегетаційний сезон вербові зарості зайняли 30 % території колишнього Каховського водосховища (Kuzemko et al. 2024). Найбільш активно та масово дно водосховища заростало видом гібридного походження *Salix × rubens*, що є цілком логічним, зважаючи на те, що на даний час гібриди з участю *S. fragilis* переважають над «чистими» видами в європейській частині ареалу. Процеси гібридизації і поширення цього гібриду найчастіше обмежуються вторинними порушеними біотопами та районами, де не залишилося природних місцезростань. Таксон відсутній у непорушених екосистемах. Лише в місцевостях, де природні місцезростання збереглися, найчастіше трапляється типова *S. alba*. Виходячи з цього, можна припустити, що днище осушеного водосховища стало ареною для формування гібридної форми *S. × rubens*, яка вже у початкових незрілих стадіях розвитку мала притаманні гібриду ознаки, і лише окремі екземпляри мали певні відхилення. Важливим є подальший моніторинг змін цих діагностичних ознак у процесі онтогенезу та виявлення можливого заміщення гібридних форм у залежності від зміни гідрорежиму середовища.

Активне заростання стало можливим через те, що осушення водосховища співпало з дозріванням та періодом проростання насіння верби. Воно легко розноситься на великі відстані завдяки наявності пучка волосків. Так само ефективно воно поширюється водою, про що, зокрема, свідчить те, що проростки *Salix × rubens* утворювали видовжені лінії, які корелювали з лінією тимчасових урізів води при її відходженні. Таким чином, відступаючи з водосховища вода поширювала рослини все далі від берега. Існують дані, що свіжозібране насіння має схожість на 90–100 %, але в звичайних умовах схожість майже повністю втрачається протягом трьох тижнів. У вологому повітрі (100 %) схожість зберігалась 30 днів. Також довше зберігається схожість насіння в темноті, однак проростки дуже світлолюбні, тому потребують доброго освітлення (McLeod & McPherson 1973, Maroder et al. 2000).

Те, що заростання водосховища *Salix × rubens* відбулося протягом досить короткого періоду (червень-липень) свідчить, що на ділянках, які звільнялися від води у серпні-вересні, вербові зарості відсутні. Ці ділянки (наприклад, в центральній частині Милівської затоки) на період повторних моніторингових досліджень являли собою такироподібні субстрати із розрідженою трав'яною рослинністю. Поява такироподібних субстратів з інтенсивним утворенням фрактальних тріщин пояснюється відсутністю достатньої кількості опадів у літньо-осінній період та інтенсивним випаровуванням.

Вияткову роль *Salix × rubens* у заростанні Каховського водосховища демонструє порівняльний аналіз описів ділянки моніторингу біорізноманіття KSSO3/KSAO3 в Національному природному парку «Кам'янська Січ». Восени, порівняно з літом, видове багатство ділянки зросло з 8 до 19 видів, тобто майже у 2,5 рази. За той же період загальне проективне покриття рослинного покриву зросло більш, ніж у 63,5 рази. При цьому проективне покриття трав'яного ярусу майже не змінилося, натомість проективне покриття ярусу, який був відсутній влітку, а восени був сформований майже виключно *Salix × rubens*, збільшилося в 95 разів.

Активне заростання водосховища продовжилося і у наступному 2024 році, як показують досліджені нами ділянки в Запорізькій області. Значно поповнився видовий склад судинних рослин. Зросла кількість видів водоростей у ґрунтових кірках, переважно за рахунок розвитку зелених водоростей. На другій стадії сукцесії з'явилася водорість *Klebsormidium* cf. *flaccidum*, яка є типовим компонентом ґрунтових кірок різних рослинно-кліматичних зон (Mikhailyuk et al. 2015). *Phormidium takyricum*, що

формує основу водоростевих кірок на усіх сукцесійних стадіях, є типовим для степових ґрунтів та такирів (Kondratyeva 1968, Vynogradova 2011). Окрім судинних рослин та водоростей, в угрупованнях з'явилися мохоподібні. Цей факт, а також домінування *Tamarix ramosissima* у чагарниковому ярусі свідчать про формування в цих угрупованнях вертикальної структури. Розвинулося чітке розділення на яруси – підріст деревних порід, чагарниковий, трав'яний та моховий.

Максимальна висота особин *Salix* × *rubens* складала 4,7 м, тобто вона наблизилася до позначки в 5 м, яка розмежовує чагарниковий та деревний яруси. Таким чином, ми прогнозуємо формування в угрупованнях *S.* × *rubens* деревного ярусу вже наступного року. Швидке формування видового складу та структури угруповань свідчить про прискорені темпи формування біотопу Д1.6.1 Заплавні вербові і тополеві ліси згідно з Національним каталогом біотопів України (Kuzemko et al. 2018), який охороняється згідно з Резолюцією № 4 Бернської конвенції як G1.11 Прирічкові вербові ліси.

Заростання водосховища *S.* × *rubens* відбувалося аномально швидкими темпами. З літературних джерел (Dušek & Květ 2006) відомо, що через 1–1,5 місяці проростки верб сягають висоти 1 см і формують 2–3 перших листочки. Нами такі рослини *S.* × *rubens* у досить великій кількості були виявлені всього через 3 тижні після осушення водосховища. Парадоксальною є швидкість приросту: за 80 діб середній приріст становив 2,3 см за добу! У дерев найбільший приріст пагонів відбувається весною після розкриття бруньок. Для таких типових листяних порід, як *Acer* він становить 6 (2–11) мм за добу, і через 20–30 днів фактично припинявся (Didukh 2010). Середньодобовий приріст чагарникових верб в Україні становить 0,3–0,5 см (Gordiyenko et al. 2002). Виявлений приріст на днищі Каховського водосховища у другій половині літа є надзвичайно високим. За 3,5 місяці розвиток верби пройшов від проростків до іматурної стадії, в той час, як навіть у культивованої швидкорослої верби він триває понад три роки (Demo et al. 2013, Norenko & Didukh 2017). Швидкому заростанню водосховища сприяли достатня кількість вологи для проростання насіння та укорінення рослин, відсутність ранніх конкурентів, наявність повного сонячного світла, високий вміст поживних речовин в мулистих відкладах. Такі фактори зазначаються як оптимальні також іншими дослідниками (Dušek & Květ 2006). Показник біомаси *S.* × *rubens* за неповні 12 місяців (43 т/га сирої маси та більше 20 т/га сухої речовини) перевищує відомі показники для трирічної енергетичної верби – 30 т/га та 10–15 т/га, відповідно (Sinchenko et al. 2015).

Потужне водопілля навесні 2024 року на Дніпрі, в ході якого були затоплені значні площі дна колишнього Каховського водосховища, може посприяти збільшенню площ вербових лісів цього року, що є дуже важливим, оскільки станом на листопад 2023 року 45 % площі колишнього водосховища залишалися незарослими (Kuzemko et al. 2024). Адже саме наявність вологи під час розповсюдження насіння є критичною, оскільки насіння *Salix*, як відмічалось вище, життєздатне лише кілька тижнів (McLeod & McPherson 1973, Maroder et al. 2001), тому це може бути обмежуючим фактором у регіонах із сухими умовами початку літа.

Тривале водопілля може також негативно вплинути на насіння бур'янів, в тому числі і інвазійних чужорідних видів, зокрема, таких як *Ambrosia artemisiifolia*, *Erigeron annuus*, *E. canadensis* тощо, що в свою чергу, знизить конкуренцію з ними для природної рослинності, в тому числі і вербових заростей. Такироподібні субстрати із розрідженою трав'яною рослинністю у наступному сезоні, при наявності достатнього зволоження у літній період, заростатимуть вербами, а у випадку недостатнього зволоження тут формуватимуться відповідні трав'яні угруповання, що являють собою першу сингенетичну стадію сукцесії, на якій переважають флуктуаційні процеси, тобто швидка сезонна зміна рослинності. Ймовірно, в міру подальшого розвитку з'являтимуться конкурентніші чагарникові та деревні види, характерні для заплавних вербово-тополевих лісів.

ТАБЛИЦЯ 10. Фітоценотична характеристика описів ділянок біорізноманіття вербово-тополевих заростей, розташованих на території колишнього Каховського водосховища

TABLE 10. Phytocoenotic characteristic of willow-poplar thickets at the bottom of the former Kakhovka reservoir biodiversity plots

Номер плоту	KSA02		KSA03		KR0524_5	KR0524_6	KR0524_8	KR0524_10
	30.06.23	19.10.23	30.06.23	19.10.23	22.05.24	22.05.24	23.05.24	23.05.24
Дата	30.06.23	19.10.23	30.06.23	19.10.23	22.05.24	22.05.24	23.05.24	23.05.24
Площа (м ²)	100	100	100	100	100	100	100	100
Проективне покриття	1,35	99	1,27	96	70	70	100	100
Кількість видів	7	15	3	8	44	24	20	21
^S <i>Populus nigra</i>		0,25			45,00	22,50	0,25	
^S <i>Salix × rubens</i>		92,50		95,00	1,50	15,00	60,00	90,00
^S <i>Salix alba</i>								10,00
^S <i>Tamarix ramosissima</i>				0,10		0,25		0,50
^j <i>Acer negundo</i>	0,01						0,15	
^j <i>Amorpha fruticosa</i>					0,25	1,00	0,25	
^j <i>Celtis occidentalis</i>					0,10			
^j <i>Gleditsia triacanthos</i>				0,10				
^j <i>Populus nigra</i>	0,01							
^j <i>Salix × rubens</i>	0,75		1,25					
^j <i>Ulmus laevis</i>					0,10			
^j <i>Ulmus minor</i>					0,10	0,10		
<i>Achillea pannonica</i>					0,10			
<i>Achillea nobilis</i>					0,10			
<i>Agrostis gigantea</i>					0,10			
<i>Agrostis stolonifera</i>					0,05	0,50		
<i>Althaea officinalis</i>								0,10
<i>Amaranthus retroflexus</i>					0,10			
<i>Anisantha sterilis</i>							0,25	
<i>Anisantha tectorum</i>					0,10	0,50		
<i>Barkhausia rhoeadifolia</i>					0,10			
<i>Bidens frondosa</i>			0,01		0,01	2,00		0,25
<i>Bolboschoenus maritimus</i>					0,25			
<i>Calamagrostis epigejos</i>					0,10			
<i>Calystegia sepium</i>		0,05						0,05
<i>Capsella bursa-pastoris</i>					0,10			
<i>Carex hirta</i>						0,50		
<i>Carex hordeistichos</i>								0,05
<i>Carex otrubae</i>							0,10	
<i>Carex secalina</i>					0,05	0,01		
<i>Chenopodium album</i>		0,10			5,03	1,00		
<i>Chenopodium polyspermum</i>								0,50
<i>Chenopodium rubrum</i>								0,50
<i>Chondrilla juncea</i>					0,10			
<i>Cirsium setosum</i>							0,50	0,50
<i>Cirsium vulgare</i>					0,10			
<i>Convolvulus arvensis</i>					0,05	0,15		
<i>Crepis ramosissima</i>					0,01	0,25		
<i>Cyperus fuscus</i>						0,25		
<i>Descurainia sophia</i>					0,10			

<i>Echinochloa crusgalli</i>	0,01			0,05				
<i>Epilobium hirsutum</i>					0,10		0,01	
<i>Erigeron annuus</i>					0,10		0,10	0,50
<i>Erigeron canadensis</i>		0,10			5,00	1,00	2,51	1,00
<i>Fallopia convolvulus</i>					0,10			
<i>Galium aparine</i>					0,50	0,25		
<i>Juncus compressus</i>		0,05		0,10		1,25		
<i>Juncus tenuis</i>					0,50			
<i>Lactuca serriola</i>		0,05			0,75	0,25	0,50	0,05
<i>Lactuca tatarica</i>							1,50	0,50
<i>Lythrum salicaria</i>							0,10	0,50
<i>Malva pusilla</i>	0,01	0,50						
<i>Medicago minima</i>					0,10			
<i>Melilotus albus</i>						0,20		
<i>Myriophyllum verticillatum</i>	0,01							
<i>Papaver rhoeas</i>					0,05			
<i>Persicaria maculosa</i>								
<i>Persicaria sp.</i>						0,50		
<i>Phalaris arundinacea</i>		0,35		0,10				0,40
<i>Phragmites australis</i>	0,01	0,05	0,01		3,00	1,00	0,25	42,50
<i>Picris hieracioides</i>					0,10			
<i>Plantago lanceolata</i>								
<i>Plantago major</i>					0,10			
<i>Poa angustifolia</i>						0,50		
<i>Polygonum lapathifolium</i>		3,50						
<i>Ranunculus sceleratus</i>							0,10	
<i>Rumex hydrolapathum</i>							0,05	
<i>Rumex stenophyllum</i>		0,55						
<i>Sclerochloa dura</i>					0,05			
<i>Scutellaria galericulata</i>		0,55						
<i>Senecio vernalis</i>					0,10			
<i>Setaria viridis</i>						0,10		
<i>Sonchus arvensis</i>					0,10			
<i>Sonchus asper</i>		0,50		0,10			0,10	1,50
<i>Sonchus oleraceus</i>							0,10	5,01
<i>Stellaria media</i>					0,05			
<i>Taraxacum officinale</i>					0,05			
<i>Torilis cf. arvensis</i>					0,10			
<i>Typha angustifolia</i>		0,50					2,00	2,00
<i>Typha latifolia</i>				0,05			35,00	0,10
<i>Veronica arvensis</i>					0,05			
<i>Vicia villosa</i>					0,10			
^m <i>Funaria hygrometrica</i>						2,50		0,50
^m <i>Marchantia polymorpha</i>								0,55
^a <i>Phormidium takyricum</i>	+							+
^a <i>Chlorosarcinopsis cf. aggregata</i>								+
^a <i>Stenomitos sp.</i>	+							+
^a <i>Leptolyngbya sp.</i>	+							+
^a <i>Chlorella vulgaris</i>	+							+
^a <i>Klebsormidium cf. flaccidum</i>								+

Примітка: надрядкові символи позначають яруси: ^s – чагарниковий, ^j – підріст, ^m – мохово-лишайниковий, види без цих символів репрезентують трав'яний ярус; символ а позначає ґрунтові водорості (проективне покриття мікроскопічних ґрунтових водоростей не відмічалось, знаком + відмічено їх трапляння в пробах у межах моніторингової ділянки).

Проведені дослідження показали, що на дні Каховського водосховища відбувається активне формування заплавної тополево-вербових лісів. З часом така висока інтенсивність росту знизиться, і після третього року почне формуватися розгалужена крона, а слабші рослини зникатимуть (віргінійська стадія онтогенетичного розвитку верби). Через п'ять-шість років на вербах з'являться генеративні органи (генеративна стадія), а розвиток ценозу відбуватиметься у напрямку формування типової структури. На основі даних моделювання такої ценоз може сформуватися вже після декількох десятків років, тобто набагато швидше, ніж це відбувається у типових неморальних лісах плакорного типу. Це підтверджують проведені нами візуальні спостереження на місці охолоджуючого басейну Чорнобильської АЕС, де за вісім років дерева досягли висоти 5–8 м і перейшли до генеративного стану. При цьому може змінитися і структура насаджень. Оскільки крона тополі та верби досить розлога (належить до типу «парасольки»), то, на відміну від типових неморальних лісів, де дерева (*Carpinus betulus*, *Tilia cordata*) мають вузьку крону типу «кобри», густота та щільність таких деревостанів невисока (0,4–0,6) (Didukh 2010). Кількість дерев може сягати 400–500 особин на 1 га, із розрахунку, що відстань між деревами становить 2 м. Така розлога структура деревного ярусу сприятиме тому, що формуватиметься густий намет нижчих дерев та чагарників. Потужні зарості трав'яного ярусу та густий намет деревно-чагарникового ярусу потребує достатнього забезпечення вологою та поживними речовинами.

Досліджені угруповання належать до класу *Salicetea purpureae* союзу *Salicion albae* (Mucina et al. 2016) асоціації *Salicetum albae*, *Myosotido palustris-Salicetum albae*, *Salici-Populetum* (Dubyna et al. 2019). У вологіших прируслових умовах можливо формуються угруповання більш низькорослих верб (*Salicion triandrae*, *Salicetum triandrae*), а у сухіших, на пісках, де зараз інтенсивно поновлюється *Populus nigra*, стійкою стадією можуть бути угруповання *Populetum nigro-albae*. Важко прогнозувати, як будуть протікати сукцесії на сухих піщаних та черепашкових субстратах, де зараз фіксуються куртини трав'яних рослин з плагіотропними пагонами, з'являються сходи *Amorpha fruticosa*, *Gleditsia triacanthos*, *Robinia pseudoacacia*, але не виключена можливість формування чагарникових та деревних слабкозімкнутих ценозів асоціації *Salici acutifoliae-Amorphetum fruticosae* та *Artemisio dniproicae-Salicion acutifoliae*, які наводяться для лісостепової зони, але у степовій, принаймні поки, не зафіксовані. Однак можливо, що у зв'язку із кліматичними змінами, підвищенням середньорічних температур тут можливе формування цілком нових синтаксонів, зокрема, з участю *Elaeagnus angustifolia*, який проявляє інтенсивну експансію у степовій зоні, захоплюючи нові екотопи (Sudnik-Wójcikowska et al. 2009).

Наведені угруповання належать до біотопу Д1.6.1 Заплавні вербові і тополеві ліси, що включені до Резолюції № 4 Бернської конвенції як G1.11 Riverine *Salix* woodland / Прирічкові вербові ліси. Даний біотоп має високе природоохоронне значення. Він є оселищем ряду видів рідкісних рослин (Kuzemko et al. 2018). Тополево-вербові ліси є компонентом водно-болотних угідь, на важливість збереження яких наголошується у Рамсарській конвенції. Своєрідною є структура деревної рослинності галерейних лісів (*Salicetea purpureae*), які регулюють функціонування процесів високодинамічних екосистем у заплавах, що характеризуються високою сезонною флуктуативністю, турбулентністю і навіть катастрофічними процесами та трактуються як області збурення парагенетичної конфігурації ландшафту (Didukh et al. 2015). Саме із заплавами пов'язані потужні потоки розселення інвазійних видів і характерна найвища концентрація видів-трансформерів. Разом з тим, даний біотоп дуже постраждав в Україні через антропогенний вплив. Так, в офіційних джерелах щодо структури лісів України важко знайти показники для вербових лісів, бо їх відсоток складає лише близько 0,1 % (вербово-тополеві – 1 %) (Borsukevych 2023). Саме тому, як на національному, так і на міжнародному рівнях актуальним є збереження та відновлення природних тополево-вербових ценозів заплавної екосистем (De Vries 2001, Kuzemko et al. 2024).

ВИСНОВКИ

Проведені нами польові дослідження показали, що на осушеному дні колишнього Каховського водосховища надзвичайно швидкими темпами і у надзвичайно великих масштабах відбувається формування біотопу вербово-тополевих лісів, який охороняється Резолюцією № 4 Бернської конвенції та має високу природоохоронну, екологічну, господарську та рекреаційну цінність. Темпи формування біомаси та проходження стадій онтогенезу значно перевищують відомі раніше показники. Також надзвичайно швидко поповнюється видовий склад та формується структура рослинних угруповань. Однорічні зарості верби вже мали чітко окреслені три яруси та досить багатий видовий склад угруповань. У зв'язку з цим постає питання економічної доцільності, моральності та законності можливого знищення даного біотопу у разі відбудови Каховського водосховища у майбутньому, адже такі пропозиції не лише постійно звучать з різних сторін, але й приймаються певні рішення на рівні уряду України, причому без проведення будь-якого аналізу можливих альтернативних варіантів, глибокого прорахунку екологічних наслідків та економічних розрахунків.

Подяки

Автори висловлюють щире подяку Сергію Скорику, Артему Кузьменку та Михайлу Боярському (Національний природний парк «Кам'янська Січ»), Олені Кравченко, Катерині Полянській (МБО «Екологія. Право. Людина»), Михайлу Муленку (Національний заповідник «Хортиця») та Анастасії Драпалюк (ГО «Українська природоохоронна група»), Андрію Калашникову (Київ) за допомогу у проведенні польових досліджень, а також Вірі Гайовій та Юрію Тихоненку (Інститут ботаніки ім. М.Г. Холодного НАНУ) за визначення іржастого гриба на вербі, Ірині Рабик та Світлані Нипорко за підтвердження визначення мохоподібних. Дослідження Анни Куземко, Івана Мойсієнка, та Олександра Ходосовцева було здійснено завдяки Програмі «Права людини в дії», яка виконується Українською Гельсінською спілкою з прав людини за підтримки USAID. Дослідження Якова Дідуха, Анни Куземко та Ольги Чусової частково підтримані Національним фондом досліджень України (проект № 2022.01/0121 «Геоінформаційна система з просторового оцінювання деградації довкілля України внаслідок російської агресії») та конкурсної тематики НАН України (КПКВК 6541230 «Оцінка впливу воєнних дій на трансформацію природних екосистем з використанням модельних груп видів-біоіндикаторів та моніторинг чужорідних видів у флорі та фауні як складової забезпечення біологічної безпеки України». Дослідження Тетяни Михайлюк були підтримані програмою «European Union's Horizon 2020 Research and Innovation» під грантовою угодою № 871072. Експедиційні дослідження були організовані за фінансової підтримки ГО «Українська природоохоронна група» та МБО «Екологія. Право. Людина».

REFERENCES

- Abrahamson, L.P., Robison, D.J., Volk, T.A., White, E.H., Neuhauser, E.F., Benjamin, W.H. & Peterson, J.M. (1998). Sustainability and environmental issues associated with willow bioenergy development in New York (U.S.A.). *Biomass and Bioenergy* **15** (1): 17–22. [https://doi.org/10.1016/S0961-9534\(97\)10061-7](https://doi.org/10.1016/S0961-9534(97)10061-7)
- Ali, M.B., Tripathi, R.D., Rai, U.N., Pal, A. & Singh, S.P. (1999). Physico-chemical characteristics and pollution level of lake Nainital (U.P., India): role of macrophytes and phytoplankton in biomonitoring and phytoremediation of toxic metal ions. *Chemosphere* **39** (12): 2171–2182. [https://doi.org/10.1016/S0045-6535\(99\)00096-X](https://doi.org/10.1016/S0045-6535(99)00096-X)
- Ali, M.B., Vajpayee, P., Tripathi, R.D., Rai, U.N., Singh, S.N. & Singh, S.P. (2003). Phytoremediation of Lead, Nickel, and Copper by *Salix acmophylla* Boiss.: Role of antioxidant enzymes and antioxidant substances. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology* **70**: 462–469. <https://doi.org/10.1007/s00128-003-0009-1>
- Amitabh, N.B. (2016). Economic importance of *Salix* to the Ecosystem. *Global Journal of Wood Science, Forestry and Wildlife* **4** (3): 134–138. <http://www.globalscienceresearchjournals.org/>

- Aronsson, P. & Perttu, K. (2001). Willow vegetation filters for wastewater treatment and soil remediation combined with biomass production. *The Forestry Chronicle* **77** (2): 293–299. <https://doi.org/10.5558/tfc77293-2>
- Belyaeva, I.V. (2009). Nomenclature of *Salix fragilis* L. and a new species *S. euxina* (Salicaceae). *Taxon* **58**: 1344–1348. <https://doi.org/10.1002/tax.584021>
- Berg, A. (2002). Breeding birds in short-rotation coppices on farmland in central Sweden – the importance of *Salix* height and adjacent habitats. *Agriculture, Ecosystems & Environment* **90**: 265–276. [https://doi.org/10.1016/S0167-8809\(01\)00212-2](https://doi.org/10.1016/S0167-8809(01)00212-2)
- Bischoff, H.W. & Bold, H.C. (1963). Phycological studies. IV. Some soil algae from Enchanted Rock and related algal species. *University of Texas Publication* **6318**: 1–95.
- Borsukevych, L.M. (2023). Protection and sustainable use of floodplain forests of Ukraine by using the habitat concept of nature conservation. *Scientific Bulletin of UNFU* **33** (3): 13–18. <https://doi.org/10.36930/40330302>
- Carlson, M. (1950). Nodal adventitious roots in willow stems of different ages. *American Journal of Botany* **37**: 555–561. <https://doi.org/10.2307/2438033>
- Ceulemans, R., McDonald, A.J.S. & Pereira, J. S. (1996). A comparison among eucalypt, poplar and willow characteristics with particular reference to a coppice, growth-modelling approach. *Biomass and Bioenergy* **11** (2/3): 215–231. [https://doi.org/10.1016/0961-9534\(96\)00035-9](https://doi.org/10.1016/0961-9534(96)00035-9)
- Christersson, L., Sennerby-Forsse, L. & Zsuffa, L. (1993). The role and significance of woody biomass plantation in Swedish agriculture. *The Forestry Chronicle* **69** (6): 687–693. <https://doi.org/10.5558/tfc69687-6>
- Demo, M., Attila Bako, A., Húska, D. & Hauptvogel, M. (2013). Biomass production potential of different willow varieties (*Salix* spp.) grown in soil-climatic conditions of south-western Slovakia. *Wood Research* **58** (4): 651–662.
- Dengler, J., Boch, S., Filibeck, G., Chiarucci, A., Dembicz, I., Guarino, R., Henneberg, B., Janišová, M., Marcenò, C., Naqinezhad, A., Polchaninova, N., Vassilev, K. & Biurrun, I. (2016). Assessing plant diversity and composition in grasslands across spatial scales: the standardised EDGG sampling methodology. *Bulletin of the Eurasian Dry Grassland Group* **32**: 13–30. <https://doi.org/10.21570/EDGG.PG.49.22-26>
- De Vries, M.G. (2001). Conservation of natural ecosystems of poplar and willow. *The Forestry Chronicle* **77** (2): 255–257. <https://doi.org/10.5558/tfc77255-2>
- Dickinson, N.M., Punshon, T., Hodkinson, R.B. & Lepp, N.W. (1994). Metal tolerance and accumulation in willows. In P. Aronsson and K. Perttu (eds): *Willow Vegetation Filters for Municipal Wastewater and Sludges*. Swedish University of Agricultural Sciences, Uppsala: 121–127.
- Didukh, Ya.P. (2010). What is the future of our forests? *Ukrainian Botanical Journal* **67** (3): 321–343. (in Ukrainian)
- Didukh, Ya.P., Chusova O.O., Olshevska I.A. & Polischuk, Yu.V. (2015). River valleys as the object of ecological and geobotanical research. *Ukrainian Botanical Journal* **72** (5): 415–430. <http://dx.doi.org/10.15407/ukrbotj72.05.415>
- Dubyna, D.V., Dziuba, T.P., Iemelianova, S.M., Bagrikova, N.O., Borysova, O.V., Borsukevych, L.M., Vynokurov, D.S., Gapon, S.V., Gapon, Yu.V., Davydov, D.A., Dvoretzkyi, T.V., Didukh, Ya.P., Zhmud, O.I., Kozyr, M.S., Konishchuk, V.V., Kuzemko, A.A., Pashkevych, N.A., Ryff, L.E., Solomakha, V.A., Felbaba-Klushyna, L.M., Fitsailo, T.V., Chorna, H.A., Chorney, I.I., Shelyag-Sosonko, Yu.R. & Iakushenko, D.M. (2019). *Prodrome of the vegetation of Ukraine*. Kyiv: Naukova dymka, 784 p. (in Ukrainian).
- Dušek, J. & Květ, J. (2006). Seasonal dynamics of dry weight, growth rate and root/shoot ratio in different aged seedlings of *Salix caprea*. *Biologia Bratislava* **61** (4): 441–447. <https://doi.org/10.2478/s11756-006-0074-0>
- Ebbs, S., Bushey, J., Poston, S., Kosma, D., Samiotakis, M. & Dzombak, D. (2003). Transport and metabolism of free cyanide and iron cyanide complexes by willow. *Plant, Cell & Environment* **26**: 1467–1478. <https://doi.org/10.1046/j.0016-8025.2003.01069.x>
- Elowson, S. (1999). Willow as a vegetation filter for cleaning of polluted drainage water from agricultural land. *Biomass and Bioenergy* **16**: 281–290.
- Eltrop, L., Brown, G., Joachim, O. & Brinkmann, K. (1991). Lead tolerance of *Betula* and *Salix* in the mining area of Mechernich/Germany. *Plant Soil* **131**: 275–285. <https://doi.org/10.1007/BF00009459>
- Ericsson, T. (1981). Growth and nutrition in three *Salix* clones grown in low conductivity solutions. *Physiologia Plantarum* **52**: 239–244. <https://doi.org/10.1111/j.1399-3054.1981.tb08499.x>
- Fuchylo, Ya.D. & Sbytina, M.V. (2009). *Willow of Ukraine (biology, ecology, exploitation): monography*. K.: Logos, 200 p. (in Ukrainian)
- Gray, D.H. & Sotir, R.B. (1996). *Biotechnical and Soil Bioengineering Slope Stabilization*, Wiley, New York, 271 p.
- Gordiyenko, M.I., Fuchylo, Ya.D. & Goychuk, A.F. (2002). *Shrub willows (biology, ecology, use, exploitation)*. Kyiv, 174 p. (in Ukrainian)
- Greger, M. & Landberg, T. (1999). Use of willow in phytoextraction. *International Journal of Phytoremediation* **1** (2): 115–123. <https://doi.org/10.1080/15226519908500010>
- Guiry, M.D. & Guiry, G.M. (2024). AlgaeBase. Worldwide electronic publication, Nat. Univ. Ireland, Galway. <http://www.algaebase.org>

- Hightshoe, G. (1998). *Native Trees, Shrubs and Vines for Urban and Rural America*, Wiley, New York, 819 p.
- Jackson, M.B. & Attwood, P.A. (1996). Roots of willow (*Salix viminalis*) show marked tolerance to oxygen shortage in flooded soils and in solution culture. *Plant Soil* **187**: 37–45. <https://doi.org/10.1007/BF00011655>
- Keller, C., Hammer, D., Kayser, A., Richner, W., Brodbeck, M. & Sennhauser, M. (2003). Root development and heavy metal phytoextraction efficiency: Comparison of different plant species in the field. *Plant Soil* **249**: 67–81. <https://doi.org/10.1023/A:1022590609042>
- Kennedy, C.E.J. & Southwood, T.R.E. (1984). The number of species of insects associated with British trees; a re-analysis. *Journal of Animal Ecology* **53**: 455–478. <https://doi.org/10.2307/4528>
- Klang-Westin, E. & Eriksson, J. (2003). Potential of *Salix* as phytoextractor for Cd on moderately contaminated soils. *Plant Soil* **249**: 127–137. <https://doi.org/10.1023/A:1022585404481>
- Klang-Westin, E. & Perttu, K. (2002). Effect of nutrient supply and soil cadmium concentration on cadmium removal by willow. *Biomass and Bioenergy* **23**: 415–426. [https://doi.org/10.1016/S0961-9534\(02\)00068-5](https://doi.org/10.1016/S0961-9534(02)00068-5)
- Kondratyeva, N.V. (1968). *Blue-green algae – Cyanophyta. Guide to the fresh water algae of the Ukrainian SSR*. Kyiv, 321 c. (in Ukrainian)
- Kopp, R.F., Abrahamson, L.P., White, E.H., Volk, T.A., Nowak, C.A. & Fillhart, R.C. (2001). Willow biomass production during ten successive annual harvests. *Biomass and Bioenergy* **20**: 1–7. [https://doi.org/10.1016/S0961-9534\(00\)00063-5](https://doi.org/10.1016/S0961-9534(00)00063-5)
- Kowalik, P.J. & Randerson, P.F. (1994). Nitrogen and Phosphorus Removal by Willow Stands Irrigated with Municipal Waste Water-A Review of the Polish Experience. *Biomass and Bioenergy* **6**: 133–139. [https://doi.org/10.1016/0961-9534\(94\)90092-2](https://doi.org/10.1016/0961-9534(94)90092-2)
- Krasny, M.E., Zasada, J. C. & Vogt, K. (1988). Adventitious rooting of four Salicaceae species in response to a flooding event. *Canadian Journal of Botany* **66**: 2597–2598. <https://doi.org/10.1139/b88-352>
- Kuzemko, A., Didukh, Ya., Onyshchenko, V., Borsukevych, L., Chorney, I., Moysiyenko, I., Sadogurska, S., Kish, R., Pashkevych, N., Khodosovtsev, O., Iakushenko, D., Vynokurov, D., Dziuba, T., Iemelianova, S., Fitsailo, T., Bashta, A.-T., Budzhak, V., Vasheniak, I., Zakharova, M. & Shapoval, V. (2018). *National habitat catalogue of Ukraine (high resolution)*. Kyiv: Ind. entr. Klymenko Y.Y., 442 p. (in Ukrainian)
- Kuzemko, A., Prylutskyi, O., Kolomytsev, G., Didukh, Y., Moysiyenko, I., Borsukevych, L., Chusova, O., Splodytel, A. & Khodosovtsev, O. (2024). Reach the bottom: plant cover of the former Kakhovka Reservoir, Ukraine. *Research Square*. <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-4137799/v1>
- Kuzovkina, Y.A., Knee, M. & Quigley, M.F. (2004). Cadmium and copper uptake and translocation of five *Salix* L. species. *International Journal of Phytoremediation* **6** (3): 269–287. <https://doi.org/10.1080/16226510490496726>
- Kuzovkina, Y.A. & Quigley, M.F. (2005). Willows betone wetlands: uses of *Salix* L. species for environmental projects. *Water, Air, and Soil Pollution* **162**: 183–204. <https://doi.org/10.1007/s11270-005-6272-5>
- Kuzovkina Y., Weih, M. & Romero, A. (2008). *Salix*: botany and global horticulture. *Horticultural Reviews* **34**: 447–489. <https://doi.org/10.1002/9780470380147.ch8>
- Labrecque, M., Teodorescu, T.I. & Daigle, S. (1995). Effect of Wastewater Sludge on Growth and Heavy Metal Bioaccumulation of Two *Salix* Species. *Plant Soil* **171**: 303–316. <https://doi.org/10.1007/BF00010286>
- Labrecque, M. & Teodorescu, T. I. (2003). High biomass yield achieved by *Salix* clones in SRIC following two 3-year coppice rotations on abandoned farmland in southern Quebec, Canada. *Biomass and Bioenergy* **25**: 135–146. [https://doi.org/10.1016/S0961-9534\(02\)00192-7](https://doi.org/10.1016/S0961-9534(02)00192-7)
- Landberg, T. & Greger, M. (1994). Cadmiun tolerance in *Salix*. *Biologia Plantarum* **361** (Suppl.), 280 p.
- Ledin, S. (1996). Willow wood properties, production and economy. *Biomass and Bioenergy* **11** (2/3): 75–83. [https://doi.org/10.1016/0961-9534\(96\)00022-0](https://doi.org/10.1016/0961-9534(96)00022-0)
- Ledin, S. (1998). Environmental consequences when growing short rotation forests in Sweden. *Biomass and Bioenergy* **15** (1): 49–55. [https://doi.org/10.1016/S0961-9534\(97\)10054-X](https://doi.org/10.1016/S0961-9534(97)10054-X)
- Lindroth, A., Cermak, J., Kucera, J., Cienciala, E. & Eckersten, H. (1995). Sap flow by the heat balance method applied to small size *Salix* trees in a short-rotation forest. *Biomass and Bioenergy* **8** (1): 7–15. [https://doi.org/10.1016/0961-9534\(94\)00085-8](https://doi.org/10.1016/0961-9534(94)00085-8)
- Mohsin, M., Kaipainen, E., Salam, M.M.A., Evstishenkov, N., Nawrot, N., Villa, A., Wojciechowska, E., Kuittinen, S. & Pappinen, A. (2021). Biomass Production and Removal of Nitrogen and Phosphorus from Processed Municipal Wastewater by *Salix schwerinii*: A Field Trial. *Water* **13** (16), 2298. <https://doi.org/10.3390/w13162298>
- Maroder, H.L., Prego, I.A., Facciuto, G.R. & Maldonado, S.B. (2000). Storage behaviour of *Salix alba* and *Salix matsudana* seeds. *Annals of Botany* **86**: 1017–1021. <https://doi.org/10.1006/anbo.2000.1265>
- Maurice, C., Ettala, M. & Lagerkvist, A. (1999). Effects of leachate irrigation on landfill vegetation and subsequent methane emissions. *Water, Air, Soil Pollution* **113**: 203–216. <https://doi.org/10.1023/A:100506950367>
- McLeod, K.W. & McPherson, J. K. (1973). Factors limiting the distribution of *Salix nigra*. *Bulletin of the Torrey Botanical Club* **100**: 102–110. <https://doi.org/10.2307/2484398>
- Mucina, L., Bültmann, H., Dierßen, K., Theurillat, J.-P., Raus, T., Čarni, A., Šumberová, K., Willner, W., Dengler, J., Gavilán García, R., Chytrý, M., Hájek, M., Di Pietro, R., Iakushenko, D., Pallas, J., Daniëls, F.J.A., Bergmeier, E., Santos Guerra, A., Ermakov, N., Valachovič, M., Schaminée, J.H.J., Lysenko, T.,

- Didukh, Y.P., Pignatti, S., Rodwell, J.S., Capelo, J., Weber, H.E., Solomeshch, A., Dimopoulos, P., Aguiar, C., Hennekens, S.M. & Tichý, L. (2016). Vegetation of Europe: hierarchical floristic classification system of vascular plant, bryophyte, lichen, and algal communities. *Applied Vegetation Science* **19** (1): 1–783. <https://doi.org/10.1111/avsc.12257>
- Mikhailyuk, T., Glaser, K., Holzinger, A. & Karsten, U. (2015). Biodiversity of *Klebsormidium* (Streptophyta) from alpine biological soil crusts (Alps, Tyrol, Austria, and Italy). *Journal of Phycology* **51**: 750–767.
- Norenko, M. & Didukh, Ya.P. (2017). Morphometric parameters and age structure of *Elaeagnus angustifolia* L. on the Northern and Western boundaries of its area. *Biological systems* **9** (1): 115–122. (in Ukrainian)
- Persson, G. & Lindroth, A. (1994). Simulating evaporation from short-rotation forest: variations within and between seasons. *Journal of Hydrology* **156**: 21–45. [https://doi.org/10.1016/0022-1694\(94\)90069-8](https://doi.org/10.1016/0022-1694(94)90069-8)
- Perez-Harguindeguy, N., Diaz, S., Garnier, E., Lavorel, S., Poorter, H., Jaureguiberry, P., Bret-Harte, M.S., Cornwell, W.K., Craine, J.M., Gurvich, D.E., Urcelay, C., Veneklaas, E.J., Reich, P.B., Poorter, L., Wright, I.J., Ray, P., Enrico, L., Pausas, J.G., de Vos, A.C., Buchmann, N., Funes, G., Quetier, F., Hodgson, J.G., Thompson, K., Morgan, H.D., ter Steege, H., van der Heijden, M.G.A., Sack, L., Blonder, B., Poschlod, P., Vaieretti, M.V., Conti, G., Staver, A.C., Aquino, S. & Cornelissen, J.H.C. (2013). New handbook for standardised measurement of plant functional traits worldwide. *Australian Journal of Botany* **61**: 167–234. <http://dx.doi.org/10.1071/BT12225>
- Philippot, S. (1996). Simulation models of short-rotation forestry production and coppice biology. *Biomass and Bioenergy* **11** (2/3): 85–93. [https://doi.org/10.1016/0961-9534\(96\)00008-6](https://doi.org/10.1016/0961-9534(96)00008-6)
- POWO (2024). Plants of the World Online. Facilitated by the Royal Botanic Gardens, Kew. Published on the Internet; <https://powo.science.kew.org/> Retrieved 12 October 2024
- Punshon, T. & Dickinson, N. (1997). Acclimation of *Salix* to metal stress. *New Phytologist* **137**: 303–314. <https://doi.org/10.1046/j.1469-8137.1997.00802.x>
- Robinson, B.H., Mills, T.M., Petit, D., Fung, L.E., Green, S.R. & Clothier, B.E. (2000). Natural and induced cadmium-accumulation in poplar and willow: implications for phytoremediation. *Plant Soil* **227**: 301–306. <https://doi.org/10.1023/A:1026515007319>
- Rytter, R.-M. & Hansson, A.-C. (1996). Seasonal amount, growth and depth distribution of fine roots in an irrigated and fertilized *Salix viminalis* L. plantation. *Biomass and Bioenergy* **11** (2/3): 129–137. [https://doi.org/10.1016/0961-9534\(96\)00023-2](https://doi.org/10.1016/0961-9534(96)00023-2)
- Sage, R.B. (1998). Short rotation coppice for energy: towards ecological guidelines. *Biomass and Bioenergy* **15** (1): 39–47.
- Sennerby-Forsse, L., Melin, J., Rosen, K. & Siren, G. (1993). Uptake and distribution of radiocesium in fast-growing *Salix viminalis* L. *Journal of Sustainable Forestry* **1** (3): 93–103.
- Sinchenko, V.M. (ed.) (2015). *Energy willow: technology of cultivation and use*. Vinnytsa: Tvory, 340 p.
- Skvortsov, A.K. (1999). *Willows of Russia and adjacent countries. Taxonomic and Geographic Revision*. Joensuu University Press, Joensuu, 307 p.
- Sommerville, A.H.C. (1992). Willows in the environment. In R. Watling & J. A. Raven (eds). *Willow Symposium. Proceedings of The Royal Society of Edinburgh* **98**: 215–225.
- Sudnik-Wójcikowska, B., Moysiyanenko, I.I., Slim, P. & Moraczewski, I. (2009). Impact of the invasive species *Elaeagnus angustifolia* on Pontic desert steppe zone vegetation in southern Ukraine. *Polish Journal of Ecology* **57** (2): 269–281.
- Thompson, W. (1998). Botanical Remedies. *Landscape Architect* **8**: 38–43.
- Vandenhove, H., Thiry, Y., Gommers, A., Goor, F., Jossart, J. M., Holm, E., Gaufert, T., Roed, J., Grebenkov, A. & Timofeyev, S. (2001). Short rotation coppice for revaluation of contaminated land. *Journal of Environmental Radioactivity* **56**: 157–184. [https://doi.org/10.1016/S0265-931X\(01\)00052-2](https://doi.org/10.1016/S0265-931X(01)00052-2)
- Vervaeke, P., Luyssaert, S., Mertens, J., Meers, E., Tack, F. M. G. & Lust, N. (2003). Phytoremediation prospects of willow stand on contaminated sediment: a field trial. *Environmental Pollution* **126**: 275–282. [https://doi.org/10.1016/S0269-7491\(03\)00189-1](https://doi.org/10.1016/S0269-7491(03)00189-1)
- Vynogradova, O.M. (2011). The genus *Phormidium* Kütz. ex Gomont (Oscillatoriales, Cyanoprokaryota) in the flora of Ukraine. *Algologia* **21** (1): 70–86.
- Vyshnevskiy, V., Shevchuk, S., Komorin, V., Oleynik, Y. & Gleick, P. (2023). The destruction of the Kakhovka dam and its consequences. *Water International* **48** (5): 631–647. <https://doi.org/10.1080/02508060.2023.2247679>
- Watson, C., Pulford, I.D. & Riddell-Black, D. (2003). Development of a hydroponic screening technique to assess heavy metal resistance in willow (*Salix*). *International Journal of Phytoremediation* **5** (4): 333–349. <https://doi.org/10.1080/15226510309359041>
- Wilkinson, A. G. (1999). Poplars and willows for soil erosion control in New Zealand. *Biomass and Bioenergy* **16**: 263–274. [https://doi.org/10.1016/S0961-9534\(99\)00007-0](https://doi.org/10.1016/S0961-9534(99)00007-0)

РЕЗЮМЕ

Дідух, Я.П., Куземко, А.А., Ходосовцев, О.Є., Чусова, О.О., Борсукевич, Л.М., Скобель, Н.О., Михайлюк, Т.І., Мойсієнко, І.І. (2024). Перший рік відновлення заплавних лісів на дні колишнього Каховського водосховища. *Чорноморський ботанічний журнал* 20 (3): 305–326. doi: 10.32999/ksu1990-553X/2024-20-3-5

Підрив дамби Каховської ГЕС є одним із найбільших злочинів російських окупантів в Україні, який має катастрофічні наслідки і для населення, і для природи регіону Північного Причорномор'я. Одним із таких наслідків є знищення величезного Каховського водосховища. Дуже активно дискутувалося питання щодо подальшої долі осушеного водосховища, в тому числі розглядалися і негативні сценарії, як-от масове поширення інвазійних видів, виникнення пилових бур тощо, тому була нагальна необхідність дослідити процеси заростання дна колишнього Каховського водосховища. З цією метою нами було закладено 12 постійних моніторингових ділянок, із яких шість ділянок закладені у заростях із домінуванням верби та тополі. Проведені нами дослідження показали, що найбільш масово у заростанні Каховського водосховища бере участь *Salix* × *rubens*. Середня щільність заростей *S.* × *rubens* у перші тижні їх формування досягала 90 особин на 1 м². Восени 2023 року вона скоротилася у 4 рази, однак проєктивне покриття зросло при цьому в десятки разів. Цьому сприяв надзвичайно швидкий ріст *S.* × *rubens* – в перший рік швидкість росту становила близько 2,3 см за добу. Восени середня висота вербових заростей була близько 2 метрів при максимально заміряній висоті – 3,09 м. При цьому на окремих пагонах спостерігалось галуження, що ідентифікується як іматурна стадія розвитку. На другому році онтогенетичного розвитку рослини *S.* × *rubens* переходять у віргінільну стадію, коли висота верб у вологих багатих умовах у середньому складала майже 3,5 м, а максимально – 4,7 м. Розвиток *Populus nigra*, що переважно росте на сухих піщаних відкладах, відбувається повільніше і показники висоти та галуження пагонів нижчі. Дуже активними темпами наростала біомаса дерев. За перший рік біомаса *S.* × *rubens* перевищила відомі показники для трирічної енергетичної верби. Формування угруповань відбувалося також досить активно. Загалом у шести моніторингових ділянках відмічено 87 видів рослин, в тому числі 79 видів судинних рослин, 6 видів водоростей та 2 види мохоподібних. В однорічних заростях на площі 100 м² у середньому налічувалося 28 видів. Спостерігається чітке розшарування вербових угруповань на три яруси – підріст деревного, чагарниковий, трав'яний та моховий. Проведені нами польові дослідження показали, що на сухому дні колишнього Каховського водосховища надзвичайно швидкими темпами і у надзвичайно великих масштабах відбувається формування біотопу Д1.6.1 Заплавні вербові і тополеві ліси, який охороняється згідно з Резолюцією № 4 Бернської конвенції та має високу природоохоронну, екологічну, господарську та рекреаційну цінність. У зв'язку з цим постає питання економічної доцільності, моральності та законності можливого знищення даного біотопу у разі відбудови Каховського водосховища у майбутньому, адже такі пропозиції не лише постійно звучать із різних сторін, але й приймаються певні рішення на рівні уряду України, причому без проведення будь-якого аналізу можливих альтернативних варіантів, глибокого прорахунку екологічних наслідків та економічних розрахунків.

Ключові слова: біорізноманіття, моніторингові ділянки, вербові та тополеві ліси, Каховське водосховище, Україна.