

## МОДЕЛЮВАННЯ ІНВАЗІЙНОГО ПОШИРЕННЯ *PISTIA STRATIOTES* (*ARACEAE*) НА ОСНОВІ ГІС-АНАЛІЗУ КЛІМАТИЧНИХ ФАКТОРІВ

*К л ю ч о в і с л о в а*: інвазійні рослини, водні макрофіти, *Pistia stratiotes*, екологічне моделювання, антропогенний ареал, еколого-кліматичні фактори

Досліджено потенційне поширення небезпечно-го інвазійного виду *Pistia stratiotes* L. в Україні та на прилеглих територіях. У роботі використано програмні інструменти екологічного моделювання MAXENT; вихідними матеріалами для аналізу були масиви даних про точне розповсюдження досліджуваного виду та набір із геоінформаційних шарів, що відповідають 19 кліматичним факторам системи WorldClim. Виявлено загальні тенденції до подальшого інвазійного поширення *P. stratiotes* на території України та прилеглих територіях. Сформульовано основні рекомендації щодо менеджменту інвазійного розповсюдження цього виду.

### Вступ

Інвазії водних макрофітів є негативними та небезпечними явищами, які здатні охоплювати акваторії природних і штучних водойм, спричиняючи такі наслідки, як обміління (внаслідок посиленої транспірації з поверхні листків), порушення газообміну водойм, анаеробізація, евтрофікація, зміна трофічних взаємодій у водних біотопах тощо (Attionu, 1976; May, 2006 та ін.). Окрім згаданих екологічних наслідків, такі інвазії водних рослин призводять до економічних збитків і значно ускладнюють господарську та природоохоронну діяльність на уражених водоймах. Водночас усунення наслідків масштабних інвазій водних макрофітів є досить складним завданням, яке потребує великих фінансових і ресурсних затрат (Global Strategy..., 2001; May, 2006).

Одним із небезпечних водних пантропічних видів є *Pistia stratiotes*, яка останнім часом активно поширюється в Європі, зокрема й у водоймах Сходу України (Казарінова та ін., 2014). *Pistia*

*stratiotes* — представник монотипного (одновидового) роду з родини *Araceae* Juss. Завдяки своєму поліморфізму вид має широку синоніміку (близько 30 гетеротипних синонімів).

Основними морфологічними особливостями щодо пристосування виду до водного способу життя є значно вкорочене стебло, численні пірчасті занурені корені, плаваючі надводні листки з включенням аеренхіми, наявність опушення, яке надає листкам додаткових гідрофобних властивостей. Листки рослин зібрані в характерні плаваючі розетки. Суцвіття та квітки *P. stratiotes* досить редуковані, проте за морфологічною будовою це є типовим для багатьох представників *Araceae* (GISD, 2005; May, 2006; CABI Invasive Species Compendium, 2011).

Раніше висловлювалася думка про те, що морфологічні риси видів *Pistia* є еволюційно перехідними від типових *Araceae* до *Araceae* subfam. *Lemnoideae* Bab. (= *Lemnaceae* Gray), проте тепер можна вважати доведеним (у тому числі й молекулярно-філогенетичними методами), що *Pistia* та *Lemnoideae* не є спорідненими групами (Cusimano et al., 2011). Таким чином, вільноплаваючі життєві форми в межах родини *Araceae*, очевидно, виникли неодноразово (принаймні тричі) й незалежно (Bogner, 2009). Додатковим свідченням на користь цього є знахідки викопних решток двох видів роду *Limnobiophyllum* Krassilov (Stockey et al., 1997) і унікального виду *Cobbania corrugata* (Lesquereux) Stockey, Rothwell & Johnson (Stockey et al., 2007), що раніше був описаний як *Pistia corrugata* Lesquereux. Ці вимерлі рослини також були плаваючими й морфологічно дещо нагадували *Pistia* або ряскові; проте *Limnobiophyllum*, очевидно, дійсно близький до *Lemnoideae*, а *Cobbania*, найімовірніше, належала до іншої, нині вимерлої, групи (Bogner, 2009).

Рослина вважається типовим самозапилювачем. Перехресне запилення в *P. stratiotes* як таке відсутнє (або ж, можливо, відбувається дуже рідко), але це не перешкоджає активному насінневому розмноженню рослин. Водночас найефективнішим способом розмноження *P. stratiotes* є вегетативне — за рахунок численних столонів, що розвиваються в пазухах листків і на яких формуються нові розетки. Важливо відзначити, що в межах первинного фрагмента ареалу в тропічних і субтропічних регіонах вид є багаторічником, тоді як у помірно широтних він виступає переважно як однорічник із суто насіннєвим відтворенням (Pieterse, 1981).

Для *P. stratiotes* характерне розповсюдження течією та вітром на великі відстані в повільнотечучих річках і стоячих водоймах. Виду також властива зоохорія, зокрема орнітохорія, що дозволяє вегетативним і генеративним діаспорам *P. stratiotes* долати значні відстані між ізольованими водоймами (Adebayo et al., 2011). Окрім того, значну роль у поширенні *P. stratiotes*, імовірно, відіграло культивування виду людиною як кормової, харчової, лікарської, фітомеліоративної та декоративної рослини (Ayode et al., 1982; Henderson et al., 2002; May, 2006); зокрема, вид є дуже популярним в акваріумній культурі, розводиться також у відкритих садових басейнах та інших декоративних водоймах. Одним із істотних механізмів інвазійного домінування виду у водних фітоценозах вважають також алелопатичну взаємодію з представниками місцевої водної флори (Aliotta et al., 1991).

Що стосується загального ареалу *P. stratiotes*, то нині він є дуже широким і майже космополітним. Питання про центри походження виду, як і про межі первинного та антропогенного фрагментів ареалу, наразі є дискусійними. Проте відомо, що тепер *P. stratiotes* поширена в тропічній Африці, тропічній та почасти помірно-широтній Азії (Афганістан, Індійський субконтинент, Індокитай, Китай, Тайвань, Малайзія тощо), Австралазії, Північній та Центральній Америці (переважно в регіоні Великих озер, у штатах Флорида та Техас, а також у Мексиці й далі на південь), Південній Америці (країни Карибського басейну, Колумбія, Бразилія, Аргентина, Перу тощо) (CABI Invasive Species Compendium, 2011).

На основі комбінованого молекулярно-філогенетичного та біогеографічного аналізів (Renner, Zhang, 2004) висловлена концепція про досить давнє походження роду *Pistia* в

регіоні Tertiary. Таким чином, точка зору про південноамериканське походження роду *Pistia* не підтверджується. За проведеними тими ж авторами оцінками за допомогою методів молекулярного годинника припускається, що клада *Pistia* (але не сам рід!) виникла в пізній крейді — 90—76 мільйонів років тому. Таким чином, *Pistia* та споріднений рід *Protarum* Engl. (єдиний його вид *P. sechellarum* Engl. — ендемік Сейшельських островів) вважаються унікальними прикладами виживання давніх за походженням груп в ізольованих регіонах, у випадку з *Pistia* — із вражаючим подальшим поширенням з імовірних рефугіумів.

У другій половині ХХ ст. вид почав траплятися, а згодом і набувати істотного інвазійного поширення, в Західній та Центральній Європі (May, 2006; Sajna et al. 2007). В океанічних регіонах Європи *P. stratiotes* заходить досить далеко на північ; зокрема, північна межа трапляння та інвазійного поширення виду зафіксована в Данії й навіть на півдні Норвегії (May, 2006; CABI Invasive Species Compendium, 2011). У більш континентальних регіонах Євразії вид трапляється значно рідше. Так, на території Російської Федерації відомі поодинокі його локалітети в околицях міст Москви, Воронежа, Самари, в Томську та Астрахані (Григорьевская и др., 2004; Соловьева, 2009; Лактионов, 2010).

В Україні вид уперше було достовірно відзначено в природних умовах, очевидно, близько 2010 року (хоча існують і більш ранні вказівки на епізодичне трапляння його у водоймах Голосіївського парку в Києві: див. Лушпа, 2009), спочатку у водоймах Бортницької станції аерації на околицях Києва, а згодом, у 2013 р., — у водоймах південно-західної частини Києва (міські ставки в районі Південної Борщагівки). Причому в другому згаданому локалітеті вид набув значного інвазійного поширення, вкриваючи своєю біомасою майже всю поверхню водойми (В.П. Гелюта, персональне повідомлення). Проте всі згадані випадки інвазії відбувалися вузьколокально в урбоєкосистемах і майже не впливали на природні водні біотопи, а самі рослини здебільшого елімінувалися впродовж зимового періоду.

Перші масштабні інвазії, які охопили природні водні біотопи та завдали серйозних екологічних проблем і матеріальних збитків, відбулися у східній частині України — в Харківській області. За даними детальних польових досліджень, проведених Г.О. Казаріною, поява *P. stratiotes* у регіоні

зафіксована в травні 2013 р. у скидному каналі ТЕЦ-2 «Есхар» і в руслі р. Сіверський Донець (сміт Есхар, Чугуївський р-н, Харківська обл.). Вірогідним місцем антропохорного занесення є заплавне озеро Хасан. За даними опитування місцевого населення, рослини спостерігалися в озері восени 2012 р., успішно перезимували та потрапили до каналу навесні 2013 р. Занесення цього пантропічного представника ароїдних пов'язане, вочевидь, з його розведенням в акваріумах як декоративної рослини.

Масовий розвиток *P. stratiotes* припав на період із травня по серпень 2013 р. Це, ймовірно, обумовлено потраплянням розеток рослин до скидного каналу ТЕЦ. Аномальні температурні умови водного режиму в каналі через скидання підігрітих вод, а також притаманне цьому виду швидке вегетативне розмноження столонами сприяли масовому розвитку рослин. У подальшому це призвело до потрапляння *P. stratiotes* із каналу до русла Сіверського Дінця та поширення з течією на значну відстань, із утворенням заторів. За даними спостережень, *P. stratiotes* розповсюджувалася за течією річки в південно-східному напрямку зі смт Есхар Чугуївського р-ну (спалах розвитку — з середини травня), через села Мохнач (із кінця травня), Задонецьке (27.06.13), Коропове (02.07.13), Нижній Бішкін (08.08.13) Зміївського р-ну, с. Червоний Донець (13.08.13), с. Петрівське (початок вересня) до м. Балаклея Балаклієвського р-ну (кінець вересня-жовтень). Таким чином, за вегетаційний період (травень—жовтень) рослини досягли м. Балаклеї (Харківська обл.), подолавши відстань понад 100 км. За цей час *P. stratiotes* потрапила до заток річки та заплавних водойм долини завдяки локальним течіям і вітру, а також із рибальськими човнами.

Виходячи із загроз подальшого інвазійного поширення виду на території України, за **мету нашої роботи** було взято побудову та аналіз моделей потенційного інвазійного розповсюдження виду *P. stratiotes* на основі фактично підтверджених даних про загальне поширення виду та детальних кліматичних ГІС-даних.

### Матеріал і методи досліджень

Основними джерелами інформації про поширення виду були власні польові спостереження з точною GPS-реєстрацією точок трапляння, здійснені впродовж 2013 р. Г.О. Казаріною на території

Харківської області, та відкриті електронні бази даних із біорізноманіття GBIF (Global Biodiversity Information Facility, <http://data.gbif.org/>) і BioCASE (<http://www.biocase.org/>), що містять інформацію про геопозиціоновані точки трапляння *P. stratiotes* у межах усього ареалу. Загалом до сукупного масиву даних увійшло 1349 точок трапляння, з яких 119 в Україні та 1230 точок, вибраних із міжнародних баз даних з біорізноманіття. Для вирівнювання загальної вибірки точок трапляння нами був застосований алгоритм відбору, згідно з яким усі окремі точки, що припадали на одну чарунку растрового шару карти, сприймалися програмою як одна точка (Hernandez et al., 2006).

Моделювання потенційного ареалу виду здійснювалося в програмі MAXENT за стандартними методиками (Thuiller, 2005; Phillips et al., 2006, 2008) із використанням ГІС-шарів для 19 кліматичних факторів, які є похідними від середніх за 60 років показників температури та вологості (Hijmans et al., 2005; WorldClim, 2014). Згадані вище 19 кліматичних факторів відповідають: середньорічній температурі повітря (1), середньомісячному температурному діапазону (2), ізотермічності (3), температурній сезонності (4), максимальній температурі найтеплішого місяця (5), мінімальній температурі найхолоднішого місяця (6), річному температурному діапазону (7), середній температурі найвологішого кварталу (8), середній температурі найсухішого кварталу (9), середній температурі найтеплішого кварталу (10), середній температурі найхолоднішого кварталу (11), середньорічній кількості опадів (12), опадам найвологішого місяця (13), опадам найсухішого місяця (14), сезонності опадів (15), опадам найвологішого кварталу (16), опадам найсухішого кварталу (17), опадам найтеплішого кварталу (18), опадам найхолоднішого кварталу (19) (Hijmans et al., 2005; Титар, 2011; WorldClim, 2014). За розмір чарунки (розподільна здатність) кліматичних геоінформаційних шарів та отриманих просторових моделей було обрано 2,5 кутових мінут для карт потенційного поширення в межах України та прилеглих територій і для оглядових карт поширення виду в Європі та світі.

Для створення «кліматичного конверту» виду (двовимірної кліматичної ніші виду в координатах середньорічної температури повітря та середньорічної кількості опадів), візуального представлення, обробки отриманих екологічних

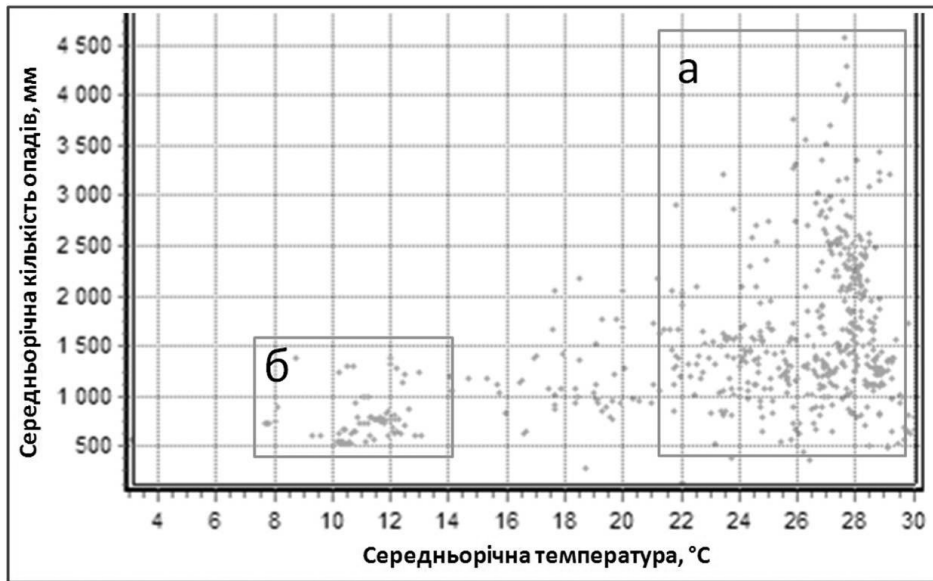


Рис. 1. «Кліматичний конверт» *Pistia stratiotes*, побудований за даними усієї сукупності геопроеційованих точок поширення виду

Fig. 1. Climatic envelope of *P. stratiotes* created according to the dataset combining all georeferenced presence points of the species

моделей, а також для створення картосхем потенційного поширення ми використовували програмне забезпечення DIVA-GIS (<http://www.diva-gis.org/>) та Quantum GIS (<http://www.qgis.org>).

Надійність і прогностична цінність результатів моделювання потенційного ареалу оцінювалися за стандартними методиками в програмі MAXENT шляхом аналізу параметрів AUC (Tsoar et al., 2007; Phillips et al., 2008; Graham et al., 2008).

### Результати досліджень і їх обговорення

За даними аналізу «кліматичного конверту» *P. stratiotes*, побудованого в координатах середньорічної кількості опадів і температури за допомогою програми DIVA-GIS (рис. 1), більшість точок трапляння виду припадає саме на теплі та вологі тропічні регіони, які відповідають первинному фрагменту ареалу (а), проте також прослідковується плавний розподіл точок трапляння вздовж усієї осі середньорічної температури з певною скупченістю в секторі графіка (б), який відповідає вторинному фрагменту ареалу виду в Європі. Загалом графік розподілу точок у координатах двох провідних кліматичних факторів вказує на досить широку толерантність виду до температурних умов і вологості клімату.

Створені нами моделі потенційного поширення MAXENT було перевірено на специфічність і прогностичну здатність відповідно до параметрів AUC. Теоретично найвища предикативна сила

моделі MAXENT досягається тоді, коли показник AUC наближається до 1. Параметр AUC моделі не може бути нижчим за 0,5, оскільки це відповідає випадковому (довільному, випадковому) прогнозу поширення, у випадку чого модель MAXENT не має предикативної сили. За прийнятими нормами оцінки еколого-кліматичних моделей прогностична якість моделі є низькою, якщо  $0,60 > AUC \leq 0,70$ ; задовільною, якщо  $0,70 > AUC \leq 0,80$ ; хорошою, якщо  $0,80 > AUC \leq 0,90$ , і відмінною, якщо  $AUC > 0,90$  (Phillips et al., 2008; ). У нашому випадку завдяки великій і відносно однорідній вибірці точок поширення вдалося досягти рівня AUC 0,936, що за наведеною вище шкалою відповідає «відмінній» прогностичній спроможності моделі потенційного розповсюдження *P. stratiotes*.

Отримані нами оглядові великомасштабні моделі потенційного поширення *P. stratiotes* у Європі та світі (рисунки 2 і 3) та зіставлення їх із картами континентальності — океанічності (Meusel et al., 1992) вказують на те, що вид має чітку приуроченість до територій з океанічним характером клімату й уникає територій із континентальними умовами.

Відповідно до загальної моделі, в Європі найбільш сприятливі для поширення *P. stratiotes* умови складаються на півночі Іберійського півострова, півдні Великої Британії і майже суцільно — в Атлантичному, Субатлантичному та Центральному регіонах Європи. Найпівнічніше висока імовірність



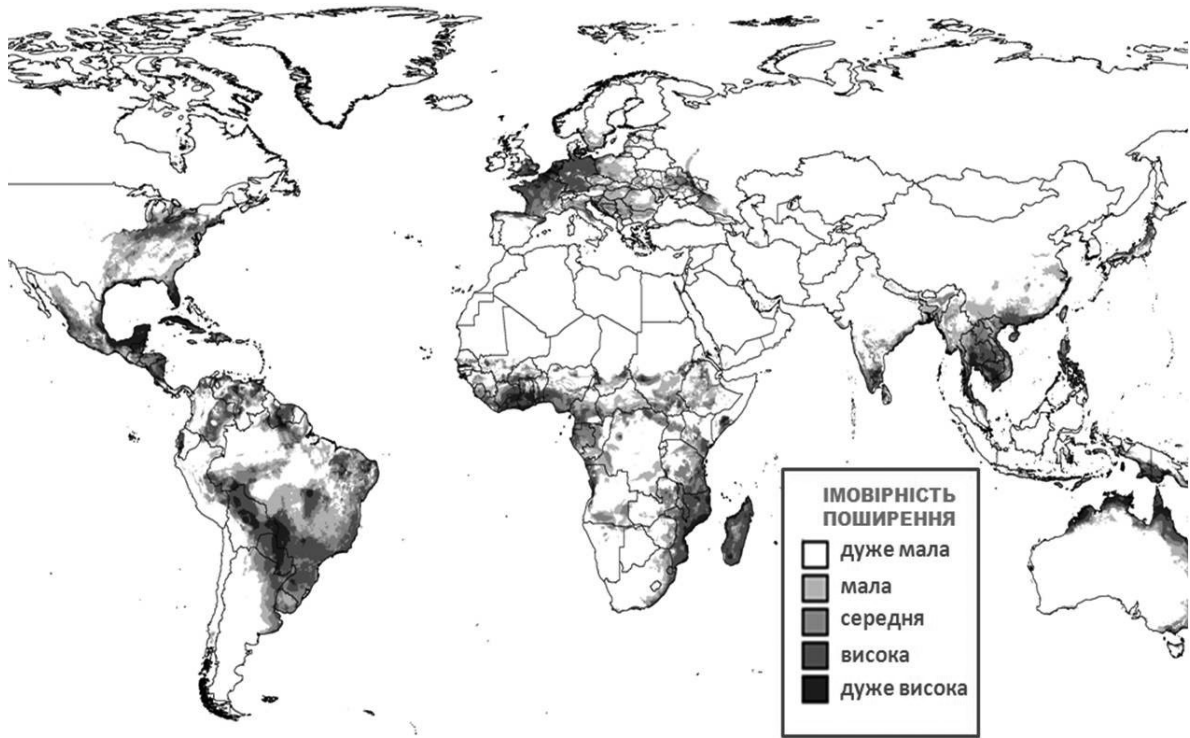


Рис. 2. Загальна модель потенційного поширення *P. stratiotes* за даними MAXENT

Fig. 2. Global potential distribution model of *P. stratiotes* according to MAXENT data analysis

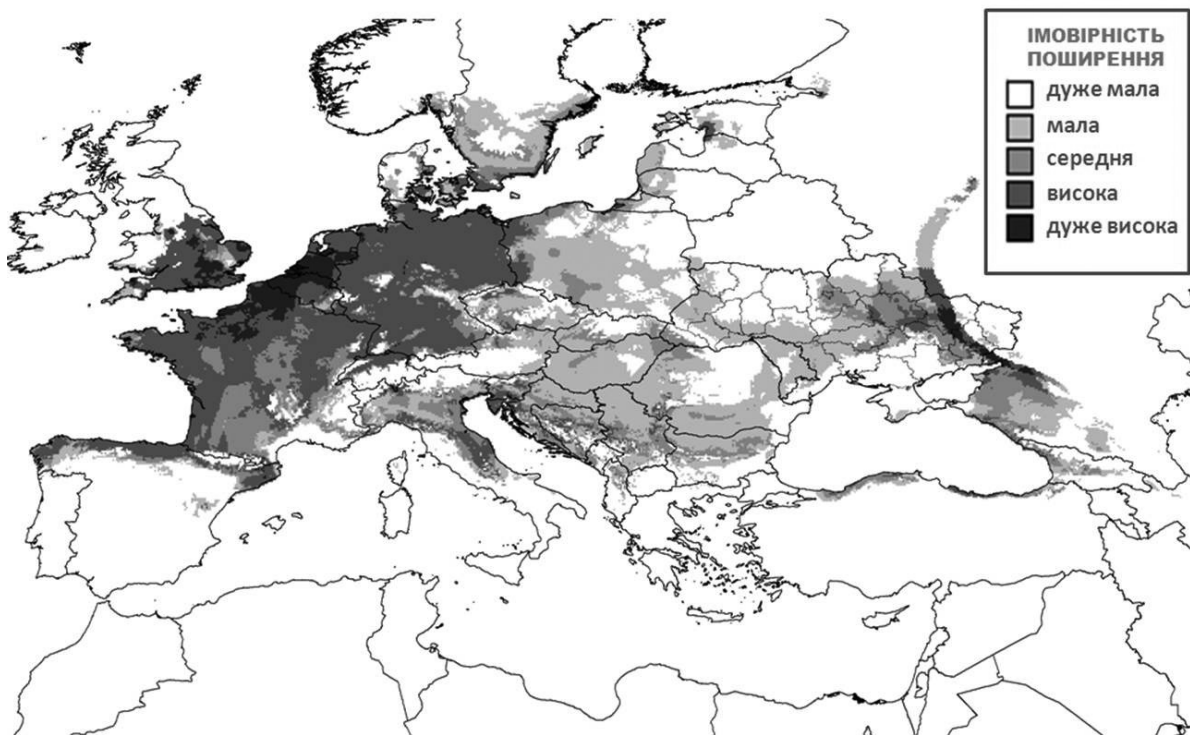


Рис. 3. Модель потенційного поширення *P. stratiotes* за даними MAXENT на території Європи

Fig. 3. Potential distribution model of *P. stratiotes* in Europe according to MAXENT data analysis

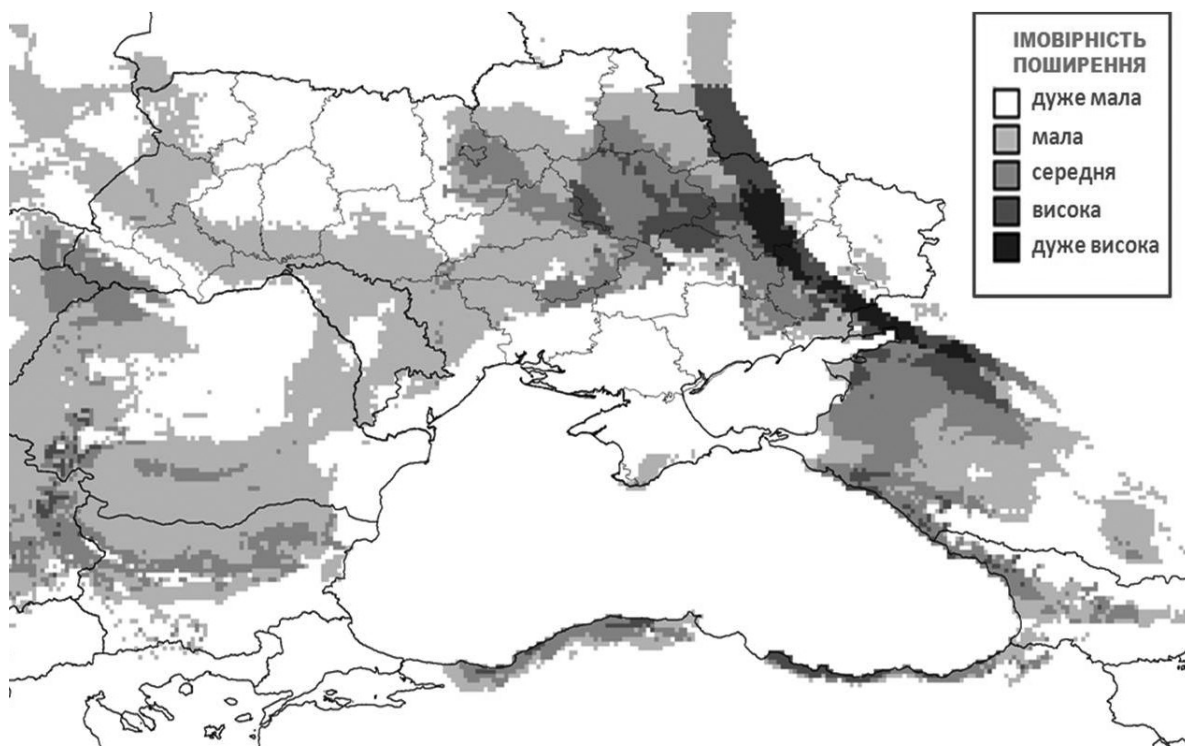


Рис. 4. Модель потенційного поширення *P. stratiotes*, за даними MAXENT, в Україні та на прилеглих територіях  
 Fig. 4. Potential distribution model of *P. stratiotes* in Ukraine and on adjacent territories according to MAXENT data analysis

поширення виду відзначається на півострові Ютландія та загалом у південно-східній частині Балтійського регіону. В Субсередземноморському та Середземноморському регіонах Європи кліматичні умови є менш сприятливими для виду (крім Апеннінського півострова), ймовірності його трапляння розподілені на карті цих територій досить мозаїчно. У Східній Європі загалом для виду характерне також «мереживо» потенційного ареалу з осередками сприятливих умов переважно вздовж північної межі Балканського півострова.

Для України та прилеглих територій ми було побудували еколого-кліматичні моделі з розподільною здатністю 2,5 кутових мінут (рис. 4). Відповідно до цих моделей відмінні та дуже сприятливі умови для поширення *P. stratiotes* відзначаються на Сході України дугою від південно-західних відрогів Середньо-Руської височини вздовж Донецької височини. Варто зауважити, що, згідно з моделлю, нижня течія Сіверського Дінця в межах Луганської обл. не має сприятливих умов для інвазійного поширення виду. Сприятливі еколого-кліматичні умови спостерігаються також на території Полтавської рівнини, в південних частинах Придніпровської

височини та низовини, Київського плато та на території Закарпаття. Низька ймовірність трапляння виду розподілена по всій території України досить неоднорідно від Передкарпаття до Південного берега Криму.

Екстраполюючи отримані моделі потенційного поширення на мережу основних річок України, можна підсумувати, що ймовірні масштабні інвазії *P. stratiotes* переважно у верхній течії Сіверського Дінця та в його правих притоках, в основних великих річках Дніпровського басейну в межах Придніпровської низовини (Десна, Сула, Псел, Ворскла, Самара), середній течії Південного Бугу та верхній течії Інгулу. Крім того, вразливі до інвазій *P. stratiotes* є водойми Закарпаття. Що стосується Дніпра, то інвазійне поширення *P. stratiotes* ймовірне у водосховищах від Київського до Дніпровського включно.

За даними нашої моделі, масове розповсюдження *P. stratiotes* у нижній течії Дніпра є малоімовірним. Проте цей останній прогноз може бути скоригований у майбутньому за умов урахування майбутньої інформації про нові точки реєстрації виду в Україні або на прилеглих територіях. Звичайно

ж, поодинокі локальні випадки трапляння виду в природних водоймах можливі й за межами прогнозованих зон поширення, залежно від умов конкретних водойм.

Щодо прилеглих до України територій, то тут *P. stratiotes* може набути широкого інвазійного розповсюдження в Азово-Чорноморському регіоні (крім Північного Причорномор'я та більшої частини Криму). Так, найсприятливіші еколого-кліматичні умови, згідно з даними моделювання, відзначаються у Прикубанській низовині в басейні річок Дон і Кубань, а також майже суцільно вздовж Чорноморського узбережжя Кавказу та Малої Азії. На заході Чорноморського регіону сприятливі кліматичні умови для *P. stratiotes* спостерігаються вздовж усього гірського пасма Стара Планіна на території Болгарії.

## Висновки

Побудова еколого-кліматичних моделей на сьогодні є одним із дієвих засобів експрес-аналізу та прогнозування потенційного поширення інвазійних рослин. Алгоритм більшості програмних пакетів для екологічного моделювання полягає в узагальненні всіх показників кліматичних факторів, зібраних з усіх точок трапляння досліджуваного виду, та в екстраполяції цих даних на території з подібними кліматичними параметрами, де вид досі не був відзначений. Найефективнішими ці методи є в тому випадку, коли вид має вузьку екологічну амплітуду за одним або кількома кліматичними факторами. У випадку *P. stratiotes* ми маємо справу з майже космополітним водним макрофітом із досить широкими екологічними амплітудами. Проте за результатами аналізу значного масиву геопозиціонованих точок розповсюдження *P. stratiotes* за комплексом 19 факторів системи WorldClim, вид усе ж має певні обмеження в поширенні. Зокрема, ми виявили, що за макрокліматичними параметрами вид, імовірно, уникатиме широкого розповсюдження на схід від Харківської області та на всіх територіях із континентальним кліматом. Проте це зовсім не виключає його випадкових занесень і утворення локальних, часто однорічних, інвазій навіть у несприятливих районах. До певної міри такі «точкові» інвазії можуть корелювати з особливими місцевими умовами, наприклад із наявністю ділянок скидання підігрітих вод.

Наші дослідження дозволяють оцінити загальні тренди поширення виду, які визначаються

передусім макрокліматичними та історичними (факти занесення виду на нові території) факторами. На більш локальному рівні велику роль у формуванні інвазій відіграють мікрокліматичні, гідрологічні та біотичні чинники, які в силу багатофакторності гірше піддаються комплексному аналізу.

На нашу думку, антропогенно змінені екосистеми зі зміщеними мікрокліматичними показниками можуть слугувати своєрідними «буферами» при проникненні інвазійних видів у природні екосистеми. Зокрема, у випадку *P. stratiotes* первинна інвазія починалася з розмноження виду в підігрітих водах скидного каналу ТЕЦ, проте згодом його популяції значно поширилися на природне русло Сіверського Дінця, де вплив підігрітих вод уже був незначним.

Для успішного менеджменту вже існуючих і профілактики подальших вогнищ інвазій *P. stratiotes* можна сформулювати низку рекомендацій. Перш за все, слід занести *P. stratiotes* до списків небезпечних інвазійних видів України та проводити інформаційну роботу з працівниками водного господарства, об'єктів ПЗФ і населенням. У контексті здійсненого нами аналізу слід організувати особливий фітосанітарний контроль і моніторинг виду на «сприятливих» і «дуже сприятливих» територіях, передусім на тих, які безпосередньо межують із первинними вогнищами інвазій *P. stratiotes* у Харківській обл. При цьому не слід обмежуватися лише водоймами басейну Сіверського Дінця, оскільки для виду характерна досить ефективна антропо- та зоохорія на значній відстані. На нашу думку, важливо проводити ретельний моніторинг можливої появи виду на всіх водосховищах середньої течії Дніпра.

Необхідно також спільно з енергетиками ТЕЦ розглянути питання про тимчасове призупинення або значне зменшення скидання підігрітої води у водовідвідний канал у зимовий період для забезпечення замерзання поверхні води, а отже — знищення в ньому вегетативних зимуючих популяцій *P. stratiotes*.

Оскільки засоби хімічного контролю у водних екосистемах є здебільшого неприпустимими, для *P. stratiotes* розробляються методи біологічного контролю за допомогою комах. В окремих дослідженнях була доведена їхня ефективність (Harley et al., 1990; Wheeler et al., 1998). Такі заходи варто розглядати в Україні як перспективні та додаткові.



Можна застосовувати й інші заходи, зокрема механічне збирання та утилізацію особин виду для запобігання подальшому занесенню їх у інші водойми. Попри негативний вплив на екосистеми, ця небезпечна інвазійна рослина, за даними багатьох досліджень, має деякі корисні властивості. Біомаса *P. stratiotes* може успішно використовуватися для виготовлення комбікормів для рибного господарства (Kumar, 1996), як сировина для виготовлення нових фармпрепаратів, зокрема радіопротекторної дії (Jha et al., 2011), та для очищення техногенно забруднених ізольованих водойм. Що ж стосується перспектив фітореMediaції, то в низці досліджень (Odjegba, 2004; Prajapati et al., 2012) було доведено, що *P. stratiotes* може вилучати велику кількість іонів важких металів і токсичних органічних речовин із прісноводних водойм.

Наостанок слід зазначити, що основним чинником успіху для стримування інвазійного поширення *P. stratiotes* є всебічне дослідження біології та закономірностей розповсюдження цього виду в межах антропогенних фрагментів ареалу та виокремлення ключових факторів реалізації його інвазійного потенціалу.

#### СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

- Григорьевская А.Я., Стародубцева Е.А., Хлызова Н.Ю., Асафонов В.А. Адвентивная флора Воронежской области: исторический, биогеографический, экологический аспекты. — Воронеж: Изд-во Воронеж. гос. ун-та, 2004. — 320 с.
- Казарінова Г.О., Гамуля Ю.Г., Громакова А.Б. Масовий розвиток *Pistia stratiotes* (Araceae) в р. Сіверський Донець (Харківська область) // Укр. ботан. журн. — 2014. — 71, № 1. — С. 17–21.
- Лактионов А.П. Флора Астраханской области. — Астрахань: Издательский дом «Астраханский университет», 2010. — 296 с.
- Лушпа В.І. Водяний латук (*Pistia stratiotes* L.) у Голосіївському ставку м. Києва // Наук. вісн. Нац. ун-ту біоресурсів і природокористування України. — 2009. — Вип. 134, ч. 1. — С. 147–152.
- Соловьева В.В. Адвентивная флора естественных и искусственных водоемов Самарской области // Изв. Самар. научн. центра РАН. — 2009. — 11, № 1(4). — С. 611–616.
- Tumar В.М. Аналіз ареалів видів: підхід, заснований на моделюванні екологічної ніші // Вісн. зоол. — 2011. — № 25 (спец. вип.). — 96 с.
- Adebayo A.A., Briski E., Kalaci O. Water hyacinth (*Eichhornia crassipes*) and water lettuce (*Pistia stratiotes*) in the Great Lakes: playing with fire? // Aquatic Invasions. — 2011. — 6(1). — P. 91–96.
- Aliotta G., Monaco P., Pinto G., Pollio A., Previtera L. Potential allelochemicals from *Pistia stratiotes* L. // J. Chem. Ecol. — 1991. — 17(11). — P. 2223–2234.
- Attionu R.H. Some effects of water lettuce (*Pistia stratiotes* L.) on its habitat // Hydrobiologia. — 1976. — 50(3). — P. 245–254.
- Ayoade G.O., Sharma B.M., Sridhar M.K. Trials of *Pistia stratiotes* L. as animal feed // J. Aquat. Plant Manag. — 1982. — 20. — P. 56–58.
- Bogner J. The free-floating Aroids (Araceae) — living and fossil // Zitteliana. Internat. J. Palaeontol. Geobiol. — 2009. — Ser. A, 48/49. — P. 113–128.
- CABI Invasive Species Compendium online data sheet. *Pistia stratiotes* (water lettuce). CABI Publishing (2011 onwards). <http://www.cabi.org/isc/datasheet/41496> (accessed 14.03.2014).
- Cusimano N., Bogner J., Mayo S.J., Boyce P.C., Wong S.Y., Hesse M., Hettterscheid W.L.A., Keating R.C., French J.C. Relationships within the Araceae: comparison of morphological patterns with molecular phylogenies // Amer. J. Bot. — 2011. — 98(4). — P. 654–668.
- DIVA-GIS. Computer program for mapping and geographic data analysis. <http://www.diva-gis.org/> (accessed 10.01.2013)
- GISD (2005 onwards). Global Invasive Species Database online data sheet. *Pistia stratiotes* (aquatic plant). <http://www.issg.org/database/species/ecology.asp?si=285> (accessed 14.03.2014)
- Global Biodiversity Information Facility (GBIF). <http://data.gbif.org/> (accessed 10.04.2014)
- Global Strategy on Invasive Alien Species // Convention of Biological Diversity, SBSTTA Sixth Meeting. — Montreal, 2001. — ix + 52 p. [www.biodiv.org]
- Graham C.H., Elith J., Hijmans R., Guisan A., Peterson A.T., Loiselle B.A. The influence of spatial errors in species occurrence data used in distribution models // J. Appl. Ecol. — 2008. — 45. — P. 239–247.
- Harley K.S., Kassulke R.C., Sands D.P., Day M.D. Biological control of water lettuce, *Pistia stratiotes* (Araceae) by *Neohydronomus affinis* (Coleoptera: Curculionidae) // Entomophaga. — 1990. — 35(3). — P. 363–374.
- Henderson L., Cilliers C.J. Invasive aquatic plants — a guide to the identification of the most important and potentially dangerous invasive aquatic and wetland plants in South Africa. PPRI Handbook No. 16. — Pretoria: Agricultural Research Council, 2002. [www.arc.agric.za/uploads/images/0\\_SAPIA\\_NEWS\\_No\\_17.pdf](http://www.arc.agric.za/uploads/images/0_SAPIA_NEWS_No_17.pdf). (accessed 14.03.2014)
- Hernandez P.A., Graham C.H., Master L.L., Albert D.L. The effect of sample size and species characteristics on performance of different species distribution modeling methods // Ecography. — 2006. — 29. — P. 773–785.
- Hijmans R., Cameron S.E., Parra J.L. Very high resolution interpolated climate surfaces for global land areas // Internl. J. Climatology. — 2005. — 25. — P. 1965–1978.
- Jha M., Sharma V., Narayan G. Role of *Pistia stratiotes* on radiation induced genotoxicity: analysis of micronucleus and chromosome aberrations *in vivo* // IJPPT. — 2011. — 1(1). — P. 63–67.
- Kumar A.R., Das I. Evaluation of dried aquatic weed, *Pistia stratiotes*, meal as a feedstuff in pelleted feed for Rohu, *Labeo rohita*, fingerlings // J. Applied Aquaculture. — 1996. — 5(4). — P. 35–44.
- May S. Invasive Aquatic and Wetland Plants (Invasive Species). — New York: Chelsea House, 2006. — 108 p.



Meusel H., Jäger E., Weinert E. Vergleichende Chorologie der zentraleuropäischen Flora. — Jena; Stuttgart; New York: Fischer Verlag, 1992. — Bd. 3. — 503 S.

Odjegba V.J., Fasidi I.O. Accumulation of trace elements by *Pistia stratiotes*: Implications for phytoremediation // Ecotoxicology. — 2004. — 13(7). — P. 637–646.

Phillips S.J., Anderson R.P., Schapire R.E. Maximum entropy modelling of species geographic distributions // Ecological Modelling. — 2006. — 190. — P. 231–259

Phillips S.J., Dudik M. Modeling of species distributions with Maxent: new extensions and a comprehensive evaluation // Ecography. — 2008. — 31. — P. 161–175

Pieterse A.H., Lange L., Verhagen L. A study on certain aspects of seed germination and growth of *Pistia stratiotes* L. // Acta Botanica Neerlandica. — 1981. — 30(1). — P. 47–57.

Prajapati S.K., Meravi N., Singh S. Phytoremediation of Chromium and Cobalt using *Pistia stratiotes*: A sustainable approach // Proc. Internl. Acad. Ecology and Environmental Sciences. — 2012. — 2(2). — P. 136–138.

Renner S.S., Zhang Li-Bing. Biogeography of the *Pistia* clade (*Araceae*): based on chloroplast and mitochondrial DNA sequences and Bayesian divergence time inference // Syst. Biol. — 2004. — 53(3). — P. 422–432.

Sajna N., Haler M., Skornik S., Kaligarić M. Survival and expansion of *Pistia stratiotes* L. in a thermal stream in Slovenia // Aquatic Botany. — 2007. — 87. — P. 75–79.

Stockey R.A., Hoffman G.L., Rothwell G.W. The fossil monocot *Limnobiophyllum scutatum*: resolving the phylogeny of Lemnaceae // Amer. J. Bot. — 1997. — 84. — P. 355–368.

Stockey R.A., Rothwell G.W., Johnson K.R. *Cobbania corrugata* gen. et comb. nov. (*Araceae*): a floating aquatic monocot from the Upper Cretaceous of Western North America // Amer. J. Bot. — 2007. — 94. — P. 609–624.

Thuiller W., Richardson D.M., Pyšek P., Midgley G.F., Hughes G.O., Rouget M. Niche-based modelling as a tool for predicting the risk of alien plant invasions at a global scale // Global Change Biology. — 2005. — 11. — P. 2234–2250.

Tsoar A., Allouche O., Steinitz O. et al. A comparative evaluation of presence-only methods for modelling species distribution // Diversity and Distributions. — 2007. — 13. — P. 397–405.

Wheeler G.S., Center T.D., Van T.K. Influence of *Pistia stratiotes* plant quality on the growth and development of the biological control agent *Spodoptera pectinicornis*. — Aquatic Plant Control Research Program. Technical Report A-98-3 — Vicksburg, MS: US Army Engineer Waterways Experiment Station: 1998. — P. 1–26.

WorldClim — Global Climate Data. Page Last Modified: 13.05.2014. <http://www.worldclim.org/> (accessed 15.04.2014)

Рекомендує до друку  
Я.П. Дідух

Надійшла 27.06.2014 р.

А.С. Мосякин<sup>1</sup>, А.О. Казаринова<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup> Інститут ботаники імені Н.Г. Холодного НАН України, г. Київ

<sup>2</sup> Харківський національний університет імені В.Н. Каразіна, Україна

#### МОДЕЛИРОВАНИЕ ИНВАЗИОННОГО РАСПРОСТРАНЕНИЯ *PISTIA STRATIOTES* (*ARACEAE*) НА ОСНОВЕ ГИС-АНАЛИЗА КЛИМАТИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ

Исследован потенциальный ареал опасного инвазионного вида *Pistia stratiotes* L. (*Araceae*) в Украине и на прилегающих территориях. В работе использованы программные инструменты экологического моделирования MAXENT; исходными материалами для анализа были массивы данных о точном распространении изучаемого вида и набор геоинформационных слоев, соответствующих 19 климатическим факторам системы WorldClim. Установлены общие тенденции дальнейшего инвазионного распространения *P. stratiotes* на территории Украины и ряда прилегающих территорий. Сформулированы основные рекомендации по менеджменту инвазионного распространения этого вида.

*К л ю ч е в ы е с л о в а*: инвазионные растения, водные макрофиты, *Pistia stratiotes*, экологическое моделирование, антропогенный ареал, эколого-климатические факторы.

A.S. Mosyakin<sup>1</sup>, A.O. Kazarinova<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup> M.G. Kholodny Institute of Botany, National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv

<sup>2</sup> V.N. Karazin Kharkiv National University, Ukraine

#### POTENTIAL INVASIVE RANGE MODELING OF *PISTIA STRATIOTES* (*ARACEAE*) BASED ON GIS-ANALYSIS OF ECOCLIMATIC FACTORS

The potential spread of noxious invasive species *Pistia stratiotes* L. (*Araceae*) in Ukraine and adjacent territories is studied in the article. The spatial modeling was performed using MAXENT software tools. The data sets of georeferenced presence points of *P. stratiotes* and a set of GIS layers corresponding to 19 eco-climatic factors of the WorldClim system were the main information sources for the analysis. The general invasive distribution trends of *P. stratiotes* are revealed for Ukraine and adjacent areas. Basic recommendations for management of this invasive species are given.

*К е у w o r d s*: invasive plants, aquatic macrophytes, *Pistia stratiotes*, ecological modeling, anthropic range, ecoclimatic factors.