

УДК 591.5:598.244]:911.5(477.41/.42)

Струс Ю.М.

ЧИСЕЛЬНІСТЬ ТА ПОШИРЕННЯ ЛУЧНИХ КУЛИКІВ В ПОЛІСЬКІЙ ЧАСТИНІ ДОЛИН РІЧОК СЛУЧ ТА ГОРИНЬ: АНАЛІЗ МЕТОДОМ МОДЕЛЮВАННЯ В МАХЕНТ

*Проаналізовано розміщення гніздових поселень та чисельність чайки (*Vanellus vanellus*), коловодника звичайного (*Tringa totanus*) та грицика великого (*Limosa limosa*) в поліських частинах долин річок Случ та Горинь (Рівненська область, Україна) з акцентом на моделюванні їх поширення методом максимальної ентропії. На основі наявних у відкритому доступі даних дистанційного зондування Землі та ГІС шарів, створених на їх основі, побудовано моделі поширення трьох видів в долинах Случа і Горині та досягнуто якості моделей на рівні AUC від 0,837 до 0,913 на тестових даних. Проаналізовано вклад окремих предикторів в моделі для кожного з видів та встановлено, що найбільш інформативними серед них виявились шари лісового покриву території, покриття заростями чагарників, покриву сільськогосподарських угідь, індексів MNDW та NDVI, відстані до річок та висоти над рівнем моря. Показано, що на основі відкритих даних можна успішно моделювати в Maxent поширення чайки, коловодника звичайного та грицика великого в умовах Полісся.*

Ключові слова: кулики, *Vanellus vanellus*, *Tringa totanus*, *Limosa limosa*, чисельність, моделювання поширення, Maxent.

Чисельність гніздових популяцій лучних куликів – чайки (*Vanellus vanellus*), коловодника звичайного (*Tringa totanus*) та грицика великого (*Limosa limosa*) значно скоротилась за останні десятиліття як у Європі загалом (на 40-50% за даними EBCC з www.ebcc.info), так і на території України зокрема [1, 2, 5]. Чимало локалітетів гніздування втратили своє значення через катастрофічне зниження чисельності куликів або їх повне зникнення [1, 2, 5]. Для колись звичайних видів – чайки та грицика великого останнім часом навіть було підвищено охоронний статус МСОП з "LC" (види що викликають найменше занепокоєння) до "NT" (кандидати в загрожувані) [20]. На національному рівні ці види охороняються в рамках окремих ратифікованих міжнародних конвенцій, але досі не включені до Червоної книги [4], хоча пропозиції занести туди чайку вже висловлювались раніше [2].

Однією з причин, ймовірно основною, такого зменшення чисельності вважається втрата гніздових біотопів. Внаслідок інтенсифікації сільського господарства в густозаселених регіонах Західної і Центральної Європи [18] та за рахунок зниження сільськогосподарської активності [1, 3] на сході Європи, що стосується і території України. Спад сільськогосподарської активності за роки зміни соціально-економічного укладу після 1990 р. призвів до скорочення поголів'я худоби, відповідно – зменшення площ пасовищ і їхнього заростання. В умовах осушення природних вологих лук і регулювання русел багатьох річок, випас відіграв важливу роль у формуванні сприятливих біотопів для гніздування лучних куликів [3, 7, 19], оскільки пасовища виступають заміною природних низькотравних лук.

В описаних умовах дуже важливим є постійний моніторинг чисельності і просторового розміщення тих гніздових поселень лучних куликів, котрі ще залишились, а також їх охорона у випадках, де це можливо. Для цього потрібні

масштабні загальнонаціональні моніторингові програми, і такі програми є у більшості країн Європи (списки країн на веб-сайті EBCC www.ebcc.info). На жаль, через брак фахівців і ресурсів, фауністичні дослідження в Україні мають переважно локальний характер і повнота покриття території є дуже різна по країні. В той час, як окремі регіони є добре обстеженими, великі площі залишаються мало дослідженими або наявні дані є дуже застарілими.

У світовій практиці для вирішення проблеми неповного покриття території фауністами останнім часом у дослідженнях поширення живих організмів все частіше застосовують різні методи моделювання [9, 13] з використанням ГІС. Такі підходи дозволяють, опираючись на об'єктивні математичні методи, екстраполювати відому інформацію про поширення видів в окремих локалітетах на значні, фізично не обстежені території шляхом аналізу шарів-предикторів, які відображають ландшафтні, біотопні, кліматичні умови аналізованої місцевості. Це дозволяє заповнити пробіли в знаннях про географічне поширення видів, а також виявити раніше невідомі локалітети, потенційно важливі для виду і, відповідно, його охорони [10]. Крім того, моделювання поширення видів використовують для прогнозування майбутнього поширення видів в умовах зміни ландшафтів чи клімату [11].

Метою цієї роботи було створити моделі поширення трьох видів лучних куликів (чайка, коловодник звичайний, грицик великий) і перевірити, наскільки цей підхід може бути корисним для передбачення поширення згаданих видів куликів. Для перевірки методики було обрано добре досліджену територію зі значною чисельністю усіх трьох видів. Оскільки результати моделювання значно залежать від правильності підбору та якості шарів-предикторів, що застосовуються для побудови моделі, завданням роботи було також перевірити, наскільки вдалими будуть моделі, побудовані на відкритих і доступних для території України даних. Тому для побудови моделей використовували виключно ГІС шари і супутникові знімки, що є у відкритому доступі. Ще одним із завдань роботи є опублікувати свіжі, фактичні дані щодо чисельності і розміщення лучних куликів на дослідженій території.

Матеріали і методи досліджень

У роботі використано матеріали по чисельності і розміщенню гніздових поселень чайки, коловодника звичайного і грицика великого в поліській частині долин річок Случ та Горинь (рис. 1), що належать до басейну Прип'яті.

Збір цих матеріалів проводили у кілька етапів. Найсвіжіші дані були зібрані у період 16-22 травня 2017 р. під час автомобільної експедиції вздовж поліської частини долин річок Случ та Горинь, не виходячи за адміністративні межі Рівненської області. Детально обстежено долину р. Случ по всій її ширині, на відрізок від смт Соснове Березнівського району на півдні до місця її злиття з р. Горинь, поруч с. Велюнь Дубровицького району. Також долину р. Горинь від сіл Городище і Смородськ Дубровицького району на півночі, до сіл Золотилин і Комарівка Костопільського району на півдні.

Збір даних по чисельності і розміщенню лучних куликів проводили методом абсолютних обліків і картування знайдених гніздових поселень («колоній»). Для цього перед експедицією територія досліджуваних фрагментів долин Случа і Горині була розбита на 103 дослідні ділянки (прямокутники розміром 4×2,8 км). Для кожної з цих дослідних ділянок був підготований картографічний матеріал у вигляді

супутникових знімків надвисокої роздільної здатності (завантажено з сервісу Google Maps). На основі підготовлених карт і проводили картування на місцевості, додатково використовуючи GPS навігатор Garmin eTrex H для фіксування географічних координат.



Рис. 1. Досліджений фрагмент долин Случа і Горині. Регулярна сітка (1x1 км) відповідає території, яка була проаналізована в Махент.

Окрім даних зібраних під час експедиції у травні 2017 р., до аналізу долучені окремі спостереження, здійснені під час одно- та дводенних виїздів на досліджувану територію, проведених протягом 2012-2016 рр в рамках Прип'ятської експедиції Зоологічного музею ЛНУ ім. І. Франка. Також територія була детально обстежена у період з 16 по 21 квітня 2011 р. на відрізку від м. Сарни до с. Велюнь Дубровицького р-ну в рамках пішої орнітологічної експедиції. Окремі точки гніздування лучних куликів на дослідженій території внесено до бази даних і потім використано в аналізі на основі усних повідомлень М. Франчука, О. Добринського та Р. Журавчака.

Для аналізу поширення гніздових поселень куликів в межах дослідженої території застосовано підхід моделювання поширення видів/біотопів методом максимальної ентропії [15] з використанням програми Maxent 3.4.1 [16]. Цей підхід і відповідне програмне забезпечення обрано через відому їх точність [8], а також простоту застосування.

Для моделювання, в програмі ArcGIS 10.5 було підготовано низку шарів-предикторів за наступною схемою. Спочатку на основі супутникових знімків надвисокої роздільної здатності (завантажено з "Google Maps" та "Bing Maps", ортофотоплани Державного земельного агентства України) були перемальовані межі долин Случа та Горині в межах Полісся. Пізніше ці межі використано як екстент для створення низки регулярних полігональних сіток інструментом "Fishnet", а саме сіток

з квадратами 1×1 км, 250×250 м та 50×50 м. В подальшому для моделювання всі дані було приведено до просторової роздільної здатності і екстенту сітки 250×250 м.

Через відсутність у відкритому доступі даних задовільної якості власноруч створено наступні шари: лісовий покрив території (залісення), покрив сільськогосподарських угідь (розорання), покриття заростями чагарників, населені пункти (забудова). Ці шари створено на основі векторної сітки 250×250 м, для кожної клітинки якої в атрибутивній таблиці було вказано залісення, заростання чагарниками та ступінь забудови, шляхом підрахунку квадратів 50×50 м, у яких трапляється той чи інший тип угідь. В межі кожного квадрату 250×250 м потрапляє 25 квадратів 50×50 м. Таким чином, у квадраті 250×250 м можлива оцінка перелічених факторів за 26-бальною шкалою від 0 до 25, де "0" позначає повну відсутність певного типу покриття/біотопу, а "25" – повне заповнення клітинки 250×250 м. Наприклад, у випадку з лісовим покривом бал "25" позначає повне залісення території (див. схему на рис. 2). Шари лісового покриття та покриття заростями чагарників було створено, оскільки вони відображають процеси заростання лук і є потенційно негативними факторами, що впливають на поширення лучних куликів, які заселяють відкриті біотопи. Шари населених пунктів і сільськогосподарських угідь відображають присутність людини на території і трансформацію ландшафту. Крім того, шар населених пунктів опосередковано індикуює рівень турбування і присутність домашніх хижих тварин (собаки, коти), що є одними з ворогів лучних куликів.

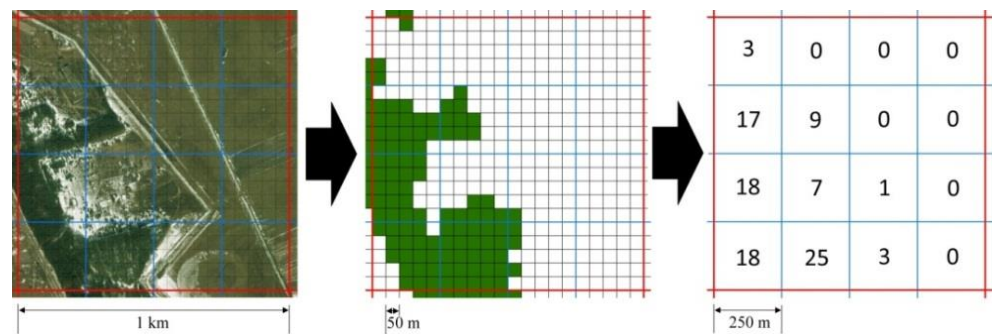


Рис. 2. Схема створення шарів на прикладі шару лісового покриття (залісення) в межах одного квадрату 1×1 км.

Для досліджуваної території були детально перемальовані всі канали осушувальних систем, русла Горині та Случа, русла дрібних річок у вигляді лінійних векторних шарів. Для кожної клітинки сітки 250×250 м підраховано загальну довжину каналів осушувальної системи та річкових русел шляхом просторового приєднання атрибутів (інструмент "Spatial join"). Після цього векторна сітка 250×250 м була трансформована в растр з використанням атрибутивного поля з довжиною відповідних лінійних об'єктів як значень пікселів растра. Отримано два растри (рис. 3 е, г). Шари річок підібрані як індикатори присутності води, що є важливою для куликів. Довжину осушувальної системи підбирали як потенційний негативний фактор, що корелює із "сухістю території". На основі векторного шару з руслами

Случа та Горині також створено растр дистанцій (інструмент "Euclidean Distance") від русел з такими ж просторовими параметрами, як і в інших шарів-предикторів.

Окрім перелічених шарів, для долин Случа і Горині розраховано низку стандартних спектральних індексів (NDVI, GRVI, ARVI, GNDVI, EVI, SAVI, MDMI, MNDWI, NDWI) у якості індикаторів розвитку і типів рослинності, а також індикаторів вологості. Індекси розраховані на основі знімку Landsat 8 OLI за 3 червня 2017 р. (ID: LC08_L1TP_184024_20170603_20170615_01_T1) та на основі знімку Landsat 5 TM за 16 квітня 2011 р. (ID: LC81840242015101LGN00). Знімки завантажені з ресурсу <http://earthexplorer.usgs.gov> у вигляді "level-2 data products", тобто після атмосферної корекції службою USGS, алгоритмами LaSRC та LEDAPS відповідно. Перший знімок вибрано як зроблений максимально близько по часу від гніздового періоду та періоду проведення найсвіжіших польових досліджень і, в той же час, як знімок з мінімальною хмарністю. Другий знімок обрано, оскільки весна 2011 р. була дуже волога, а розливи Случа і Горині сягали свого максимуму за весь період досліджень нами цієї території (з 2011 р.). У 2011 р., в середині квітня, було проведено експедицію на досліджуваній території з метою охоплення і міграційного періоду і початку гніздування куликів. У цей час значна частина долини була затоплена, утворились численні острови, на яких концентрувались великі зграї мігруючих куликів та починали гніздитись лучні види. Метою використання індексів на основі знімку 16 квітня 2011 р. було виявити місця долин, де найімовірніше накопичуються паводкові води. Цей чинник залежить від наявності понижень на рівні мікрорельєфу, але безпосередньо такі незначні пониження важко виявити на доступних цифрових моделях рельєфу. Саме тому було обрано дуже вологий рік, щоб опосередковано, через наявність води розливів, виявити пониження (вологі місця). Для аналізу індекси були усереднені з використанням інструменту "Zonal statistics" і приведені до роздільної здатності 250 м на піксель, як і інші шари.

Як цифрову модель рельєфу використано дані місії SRTM (Shuttle Radar Topography Mission) з просторовою роздільною здатністю в 1 арксекунду (~30 м/піксель; завантажено з <https://earthexplorer.usgs.gov>). Цей шар теж було приведено до роздільної здатності в 250 м на піксель шляхом усереднення висот інструментом "Zonal statistics" з використанням сітки 250×250 м як шару зон.

Загалом для моделювання в Maxent підготовлено 27 шарів-предикторів. Усі вони перед моделюванням були конвертовані в растри у форматі ESRI ASCII з розміром пікселя 250×250 м і приведені до однакового екстенду. Також перед моделюванням проведено кореляційний аналіз (кореляція Спірмана) усіх шарів-предикторів в усіх комбінаціях для виявлення шарів, що значно корелюють (відповідно до рекомендацій у [12, 14]). Такими виявилась більшість спектральних індексів (NDVI, ARVI, GNDVI, GRVI, EVI, SAVI, NDWI, NDMI; r від 0,8 до 0,99). Індекс "вологості" MNDWI з іншими предикторами корелює слабо (максимально $r=0,39$ з GNDVI). Індекси, розраховані на основі знімку за червень 2017 і квітень 2011 р., між собою корелюють слабо, оскільки рослинність у квітні тільки починає розвиватись, а у червні перебуває у зрілому стані, що відбивається на значенні індексів. Усі інші шари теж слабо корелюють між собою ($r<0,42$), лише шар дистанції до річок Случ та Горинь корелює з шаром загальної довжини їх русел на рівні $r=0,55$. З огляду на значну кореляцію між окремими шарами-предикторами, частину з них ($n=14$) було вилучено з остаточних моделей. Проте для попередньої оцінки потенційного вкладу різних

шарів-предикторів, для їх відбору, були також побудовані моделі з усіма предикторами одночасно, оскільки програма Maxent автоматично може відсіювати предиктори у випадку їх сильної кореляції [12].

Перевірку якості результатів моделювання здійснювали на основі ROC аналізу, отримуючи значення "площі під кривою" (AUC) засобами програми Maxent. Для тестування різних способів моделювання також були застосовані два ітераційні підходи – кросвалідація і бутстреп з 10 ітераціями. Розмір тестової вибірки було вибрано як 25% від всіх точок спостережень куликів.

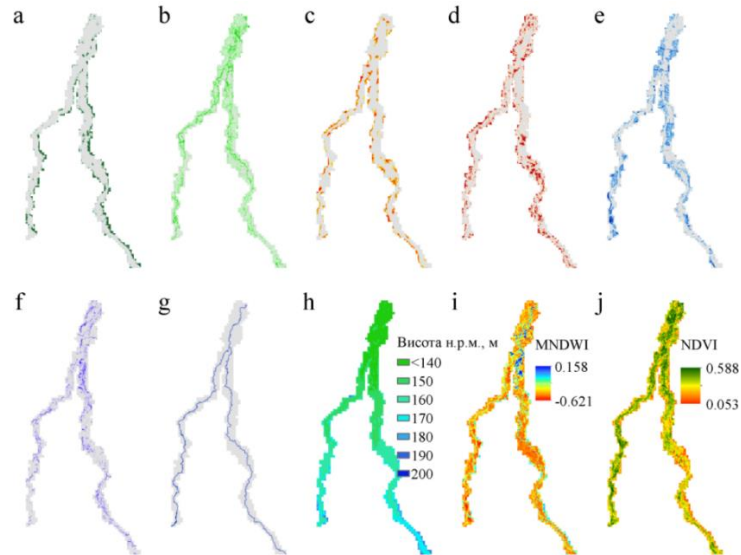


Рис. 3. Основні шари-предиктори, використані для моделювання поширення лучних куликів в долинах Случа і Горині: а) заліснення (лісовий покрив території) (0-25 балів); б) покриття заростями чагарників (0-25 балів); в) забудова (наявність населених пунктів) (0-25 балів); г) розорання (покрив сільськогосподарських угідь) (0-25 балів); е) довжина в метрах осушувальних каналів (на квадрат 250 м); ф) наявність непротічних водойм (стариці, ставки, великі калюжі) (0-25 балів); г) довжина в метрах русла Случа і Горині (на квадрат 250 м); h) висота в метрах над рівнем моря; і) індекс MNDWI (середнє на квадрат 250 м); j) індекс NDVI (середнє на квадрат 250 м).

Результати та обговорення

Поширення і чисельність куликів на основі фактичних даних

Загалом на дослідженому фрагменті Случа і Горині у 2016-17 рр. виявлено 295 пар чайки *Vanellus vanellus*, 79 – коловодника звичайного *Tringa totanus* та 47 пар грицика великого *Limosa limosa*. Середній розмір ($M \pm \sigma$) гніздових поселень $3,6 \pm 5,0$ пар, $2,8 \pm 2,7$ пар та $2,8 \pm 2,0$ пар відповідно. У більшості випадків усі три види куликів на досліджуваній території оселяються по 1-4 пари (рис. 4). Частка поселень з чисельністю куликів 5 і більше пар незначна. Найбільші поселення сягали розміру 35 пар для чайки, 10 пар для коловодника звичайного та 7 у випадку грицика великого.

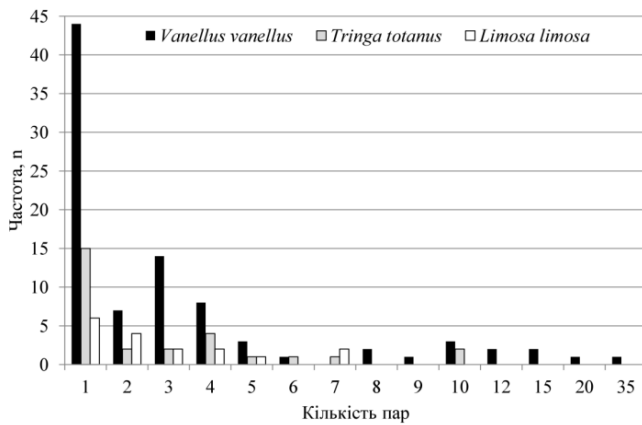


Рис. 4. Частотний розподіл колоній трьох видів куликів в залежності від їх розміру в долинах Случа і Горині.

Розміщення гніздових поселень куликів на досліджуваній території не є однаковим. Найбільш рівномірно в просторі розподілена чайка (рис. 5), менше – коловодник звичайний і найбільш нерівномірно – грицик великий. Найбільша концентрація гніздових поселень і точок з високою чисельністю гніздових пар усіх трьох видів сконцентрована в північній частині досліджених річкових долин. У випадку з грициком великим розміщення гніздових ділянок значно зсунуте на північ.

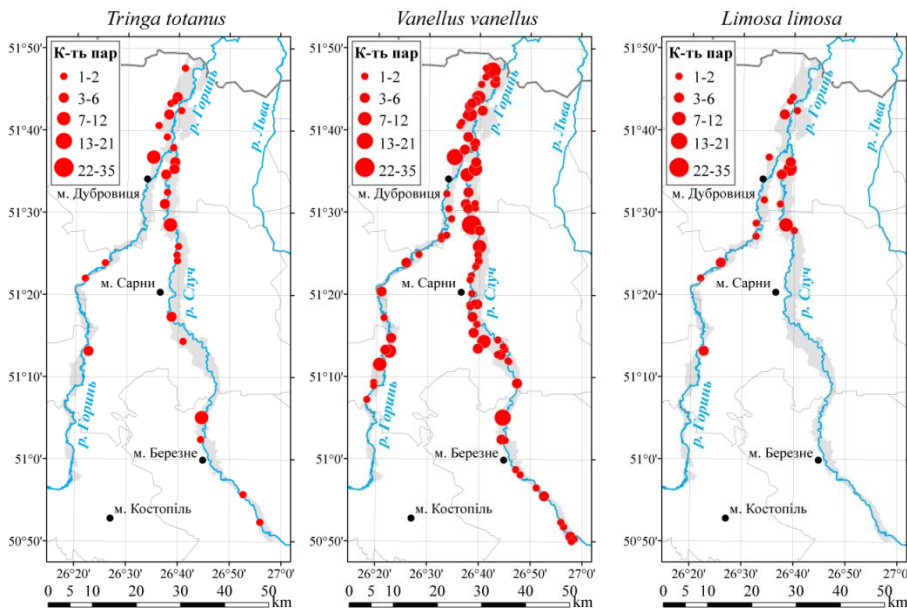


Рис. 5. Розміщення і чисельність лучних куликів в межах досліджених фрагментів долин Случа і Горині. Координатна сітка на картах в системі WGS84.

Моделювання поширення куликів

На основі 13 відібраних шарів-предикторів та точок спостережень видів (рис. 5) вдалось отримати в Maxent моделі з AUC на рівні хороших і дуже хороших моделей (відповідно критеріям у [6]). У випадку чайки AUC моделей на основі ROC аналізу на 25% тестовій вибірці дорівнював 0,837, коловодника звичайного – 0,890 та грицика великого – 0,913. AUC моделей на тренувальних даних сягав 0,859, 0,928 та 0,953 відповідно. Якщо ж у моделювання були включені всі 27 підготовлених предикторів, включно з тими, які значно корелюють, а також при застосуванні підходу бутстрепу та 10 повторних ітерацій, AUC моделей досягав навіть 0,890, 0,953 та 0,965 відповідно, але як результат для подальшого обговорення нами використано перший варіант моделі на основі 13 предикторів, за виключенням усіх значно корелюючих.

Аналіз вкладу предикторів (таблиця) в модель показує, що у випадку чайки п'ятьма найважливішими факторами серед аналізованих були заліснення (лісовий покрив території), забудова (наявність населених пунктів), покриття заростями чагарників, індекс MNDWI за 16 квітня 2011 р. та непротічні водойми, які разом становлять 76,7% вкладу в модель. Перші три предиктори впливають як негативні фактори на поширення чайки, судячи з кривих відповідей моделі. Індекс MNDWI та шар стоячих водойм позитивно корелюють з присутністю чайки.

Таблиця

Вклад (%) окремих предикторів в моделі поширення трьох видів лучних куликів в долинах Случа та Горині

Предиктори	Вклад у моделі, %		
	Чайка <i>Vanellus vanellus</i>	Коловодник звичайний <i>Tringa totanus</i>	Грицик великий <i>Limosa limosa</i>
Покрив сільськогосподарських угідь	19,7	26,7	4,8
Протяжність осушувальних каналів	0,2	0,2	1,5
Висота над рівнем моря	18,9	3,3	3,8
Лісовий покрив території	13,1	20,9	32,3
MNDWI 3.06.2017	0	0,8	0,6
MNDWI 16.04.2011	4,3	13,8	6,8
NDVI 3.06.2017	6,2	0,9	4,7
NDVI 16.04.2011	3,0	10,6	3,3
Відстань від річок	9,8	1,6	3,0
Довжина річки	1,2	1,0	1,4
Покриття заростями чагарників	17,4	18,2	13,9
Наявність населених пунктів	0,8	2,0	18,6
Водойми	5,2	0,1	5,1

У випадку з коловодником звичайним 90,2% вкладу в модель вносять (в порядку спадання): покрив сільськогосподарських угідь, лісовий покрив території, покриття заростями чагарників, індекси MNDWI та NDVI за 16 квітня 2011 р. Усі з перелічених предикторів, крім MNDWI та NDVI, негативно впливають на поширення виду, судячи з форми кривих відповідей.

В модель поширення грицика великого найбільший вклад вносять шари покриву сільськогосподарських угідь, висоти над рівнем моря, покриття заростями чагарників, лісового покриву території та відстані від річок. Сумарний вклад цих факторів сягає 78,9%

"Jackknife" аналіз (рис. 6) показує, що втрата точності моделей є найбільшою при виключенні шарів залісення, покриття заростями чагарників та забудови у випадку чайки та коловодника звичайного. У моделі поширення останнього аналогічний ефект спостерігається і при виключенні шару розорання. В моделі поширення грицика великого важко виділити фактори, при виключенні яких точність моделі найбільше знижується. Якщо ж будувати модель тільки на основі одного фактора, то для чайки вклад висоти над рівнем моря, рівня залісення та індексів NDVI є найвищим. Для коловодника звичайного це: висота над рівнем моря, MNDWI, NDVI, ступінь розорання. Для грицика великого найбільший індивідуальний вклад в моделі роблять шари NDVI за 3 червня 2017 р., висота над рівнем моря, покрив сільськогосподарських угідь, дистанція до річок.

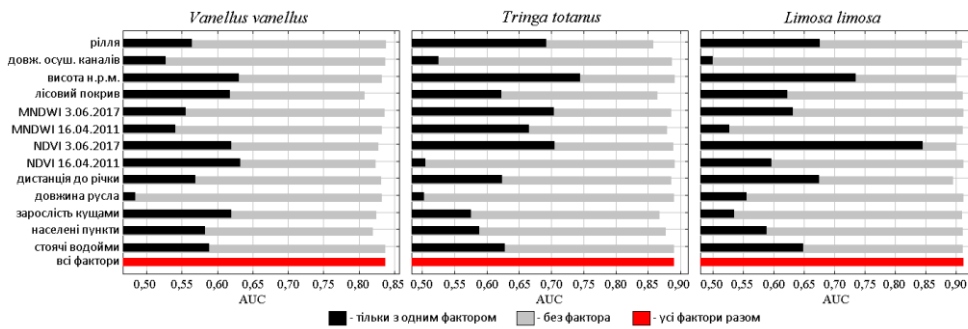


Рис. 6. Результати "Jackknife" тесту вкладу шарів-предикторів в моделі поширення лучник куликів.

Так, як і результати обліків, результати моделювання, представлені у вигляді карт, (рис. 7) показують найвищу ймовірність виявлення усіх трьох видів куликів в північніших частинах долин Случа і Горині, а саме – найбільш придатними частинами долин є відрізки північніше м. Сарни по Случу, орієнтовно до с. Велюнь, де Случ впадає в Горинь, та деякі відокремлені фрагменти в північній частині долини Горині. Чим далі на південь, тим кількість і площі придатних локалітетів зменшується.

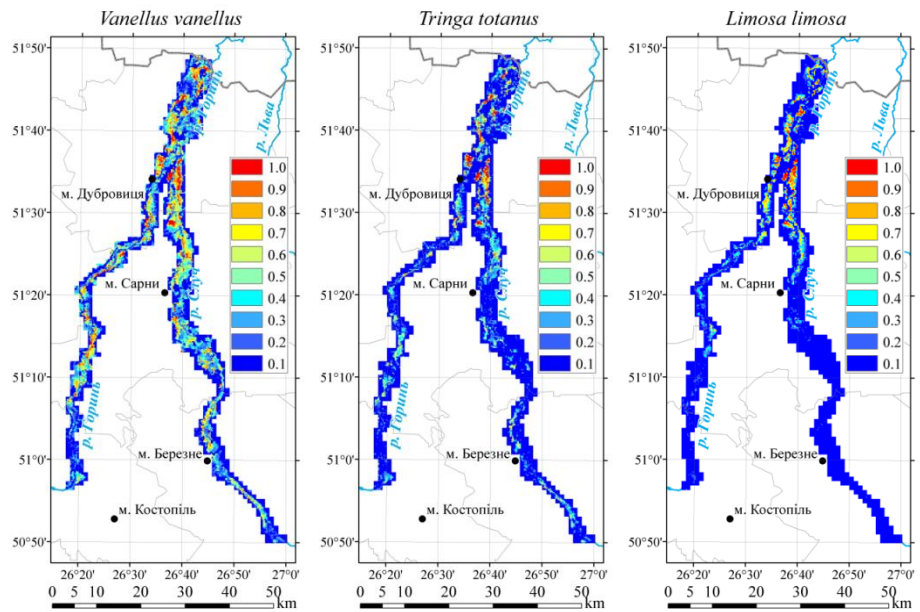


Рис. 7. Моделі поширення лучних куликів в межах досліджених фрагментів долин Случа і Горині. Шкали відповідають ймовірності виявлення ("cloglog" формат) виду в точці простору, чи придатності локалітету в діапазоні від 0 до 1. Координатна сітка на картах в системі WGS84.

Як видно з карт поширення гніздових поселень куликів, переважно вони зміщені на північ. На наш погляд, це в основному пов'язано з особливостями рельєфу території та розподілом води. Долини Случа і Горині нахилені в північному напрямку, що визначає і напрям течій річок, і більше накопичення води в пониженнях півночі. В північних частинах долин перепад висоти між водним плесом річок і поверхнею лук значно менший, ніж в південних, де русла Случа і Горині глибоко врізаються в поверхню. Тому ґрунти в північних ділянках долин загалом вологіші. Весняні розливи річок максимальні за площею нижче по течії, в північних частинах долин, що теж визначається рельєфом території. Чим далі вниз по течії, тим більша ширина долин. Оскільки територія підтоплюється під час весняних паводків, то поселення людей практично відсутні в пониженнях долини і сконцентровані по її периферії, а в широких частинах ще й значно віддалені в західно-східному напрямку, що сприяє меншому турбуванню.

Фактор вологи є дуже важливим для усіх трьох видів, оскільки на значно зволжених ділянках, у тому числі і після весняних паводків, стримується розвиток рослинності, формуються заболочені ділянки і тимчасові водойми, що слугують кормовими біотопами для куликів. У вологі роки, на ранніх етапах гніздування, серед розливів річок формуються численні ізольовані ділянки лук, свого роду острівки

оточені водою. Саме в таких місцях розміщення гнізд гніздових тут видів, а також зграй під час міграційних зупинок для ночівель чи відновлення жирових запасів є найвигіднішим з точки зору безпеки від наземних хижаків.

Для ідеального передбачення поширення лучних куликів, на наш погляд, оптимальним був би аналіз карт розміщення по території саме вологих низкотравних лук, місць заболочення, тимчасових водойм (великі калюжі, незарослі чагарниками стариці тощо), але таких детальних карт як по долинах Случа і Горині, так і по більшій частині території України немає. Детально закартовані біотопи ймовірно є лише для територій окремих природоохоронних територій, де ведуться роботи з картування в ГІС. Доступні карти рослинності України, карти ґрунтів чи карти по типу "landcover" є занадто грубими як в просторовій роздільній здатності, так і в класифікації біотопів/рослинності, що на них відображена.

На жаль, неможливо отримати такі детальні карти і на основі вільно доступних даних дистанційного зондування Землі (ДЗЗ), оскільки всі перелічені сприятливі для куликів фактори біотопу часто проявляються на дрібному масштабному рівні і переважно невидимі на знімках безпосередньо. Наявність мілких, дрібних за розміром залитих водою ділянок (калюж) неможливо виявити на знімках місії Landsat з просторовою роздільною здатністю близько 30 м на піксель. Невеликі пониження на рівні мікрорельєфу також не виявляються на доступних цифрових моделях рельєфу (напр. SRTM). Ймовірно, створити детальні карти біотопів придатних для куликів, можна на основі мультиспектральних знімків надвисокої роздільної здатності, але такі знімки переважно надаються на комерційній основі, і також можуть не мати потрібної часової роздільної здатності (рідше проводиться зйомка). Крім того, для великих за площею територій купити набір таких знімків може бути дуже дорого.

У цій роботі здійснено спробу аналізу території від протилежного, створивши карти тих факторів середовища, які легко виявити на доступних знімках Landsat та відкритих знімках надвисокої роздільної здатності з сервісів Google Maps, Bing Maps чи ортофотопланів Державного земельного агентства України, хоча вони доступні лише у вигляді знімків в псевдонатуральних кольорах. Багато з аналізованих факторів виступають в ролі негативних чинників, що обмежують поширення куликів, а їх присутність є показником недостатнього зволоження чи відсутності відкритих вологих лук. Так, шари лісового покриву території і покриття заростями чагарників безпосередньо є індикаторами заростання. Шари населених пунктів і покриву сільськогосподарських угідь – втрати лук як таких. Використання лише такого роду шарів, а також вегетаційних індексів, які легко порахувати на основі доступних даних ДЗЗ, дозволило створити моделі прийнятної якості (судячи з результатів ROC аналізу і значень AUC). Це дозволяє проводити аналогічний аналіз і пошук потенційних територій гніздування куликів для інших територій, більших за площею, можливо, навіть з використанням відкритих і вже готових шарів (наприклад OSM).

Висновки

1. На досліджених фрагментах долин Случа і Горині у 2016-17 рр. гніздилося близько 300 пар чайки *Vanellus vanellus*, 80 пар коловодника звичайного *Tringa totanus* та 50 пар грицика великого *Limosa limosa*.

2. Найцінніші для гніздування лучних куликів ділянки долин Случа та Горині зосереджені в їх північних частинах. Значення найпівденніших відрізків долин обох річок невелике.

3. Найбільш широко на досліджуваній території поширена чайка, менше коловодник звичайний та ще менше грицик великий. Поширення чайки заходить найдалше на південь і є найбільш рівномірно розподіленим по долинах Случа та Горині. В той же час, поширення грицика великого компактніше і зосереджене переважно в північніших частинах долин. Коловодник звичайний займає проміжне місце між двома згаданими видами.

4. Моделі поширення видів куликів, створені методом максимальної ентропії на основі відкритих ГІС шарів і даних супутникової зйомки, можна оцінити як хороші та дуже хороші, з AUC від 0,837 до 0,913.

5. Хоча вклад і порядок за ступенем вкладу окремих шарів-предикторів в моделі трьох аналізованих видів куликів відрізняється, серед найбільш інформативних для моделювання предикторів можна виокремити шари заліснення (лісового покриву території), розорання (покриву сільськогосподарських угідь), індексів MNDWI за 16 квітня 2011 р. (вологий рік) та NDVI, відстані до річок та висоти над рівнем моря. Вклад у моделі шарів довжини осушувальних каналів, довжини русла річки та MNDWI за 3 червня 2017 року був мінімальний (<2%).

Подяки

Автор висловлює подяку Петру Гринюку та Андрію Роголі за допомогу в проведенні польових досліджень. Михайлу Франчуку, Олександрю Добринському та Ростиславу Журавчаку за надання частини матеріалів обліків. Фонду Руффорда (The Rufford Foundation) за фінансове сприяння у проведенні польових досліджень в рамках гранту "Study and conservation of rare waders (Charadrii) in the Ukrainian forest zone".

1. Банік М.В. Катастрофічний стан популяції чайки *Vanellus vanellus* у Харківській області // *Troglodytes*. Праці ЗУОТ. – 2016. – Вип. 7. – С. 130-139.
2. Горбань І.М., Шидловський І.В., Гнатина О.С., Пісулінська Н.А., Сенік М.А. Пропозиції до третього видання Червоної книги України: птахи // *Біол. студії*. – 2009. – Т. 3, № 3. – С. 107-122.
3. Струс Ю., Шидловський І. Стан гніздових популяцій лучних видів куликів на Львівщині упродовж 2009-2014 рр. та рекомендації щодо їх охорони // *Вісн. Львів. ун-ту. Серія біологічна*. – 2016. – Вип. 72. – С. 168-179.
4. Червона книга України. Тваринний світ / за ред. І.А. Акімова. – К.: Глобалконсалтинг, 2009. – 600 с.

5. Шидловський І.В. Про зниження чисельності чайки (*Vanellus vanellus* L.) на заході України // Стан і біорізноманіття екосистем Шацького національного природного парку. – Львів: СПОЛОМ, 2012. – С. 88-91.
6. Davies J., Goadrich M. The relationship between Precision-Recall and ROC curves // Proceedings of 23rd international conference on Machine learning. – ACM, 2006. – P. 233-240.
7. Durant D., Tichit M., Kernéis E., Fritz H. Management of agricultural wet grasslands for breeding waders: integrating ecological and livestock system perspectives – a review // Biodivers Conserv. – 2008. – N 17. – P. 2275-2295.
8. Elith J., Graham C.H., Anderson R.P., Dudík M., Ferrier S., Guisan A., Hijmans R.J., Huettmann F., Leathwick J.R., Lehmann A., Li J., Lohmann L.G., Bette A. Loiselle, Glenn Manion, Craig Moritz, Miguel Nakamura, Nakazawa Y., Overton J. McC., Peterson A.T., Phillips S.J., Richardson K., Scachetti-Pereira R., Schapire R.E., Soberón J., Williams S., Wisz M.S., Zimmermann N.E., Araujo M. Novel methods improve prediction of species' distributions from occurrence data // Ecography. – 2006. – Vol. 29(2). – P. 129-151.
9. Elith J., Leathwick J.R. Species Distribution Models: Ecological Explanation and Prediction Across Space and Time // Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics. – 2009. – Vol. 40(1). – P. 677-697.
10. Guisan A., Tingley R., Baumgartner J.B., Naujokaitis-Lewis I., Sutcliffe P.R., Tulloch A.I.T., Buckley Y.M. Predicting species distributions for conservation decisions // Ecology Letters. – 2013. – Vol. 16(12). – P. 1424-1435.
11. Huntley B., Green R.E., Collingham Y.C., Willis S.G. A Climatic Atlas of European Breeding Birds. – 2007. – 521 p.
12. Merow C., Smith M.J., Silander J.A. A practical guide to MaxEnt for modeling species' distributions: What it does, and why inputs and settings matter // Ecography. – 2013. – Vol. 36(10). – P. 1058-1069.
13. Miller J. Species distribution modeling // Geography Compass, 2010. – Vol. 4(6). – P. 490-509.
14. Phillips S.J. A brief tutorial on Maxent. Available from url: http://biodiversityinformatics.amnh.org/open_source/maxent/. Accessed on 2018-04-20.
15. Phillips S.J., Anderson R.P., Schapire R.E. Maximum entropy modeling of species geographic distributions // Ecological Modelling. – 2006. – Vol. 190. – P. 231-259.
16. Phillips S.J., Dudík M., Robert E., Schapire R.E. Maxent software for modeling species niches and distributions (Version 3.4.1). – 2018. – [Інтернет ресурс]. – http://biodiversityinformatics.amnh.org/open_source/maxent
17. Shekerman H., Teunissen W., Oosterveld E. Mortality of Black-tailed Godwit *Limosa limosa* and Northern Lapwing *Vanellus vanellus* chicks in wet grasslands: influence of predation and agriculture // J. Ornithol. – 2009. – N 150. – P. 133-145.
18. Shrub M. The Lapwing. – London: Poyser, 2007. – 240 p.
19. Smart J., Gill J.A., Sutherland W.J., Watkinson W.J. Grassland-breeding waders: identifying key habitat requirements for management // J. Appl. Ecol. – 2006. – N 43. – P. 454-463.
20. The IUCN Red list of threatened species. – 2018. – Режим доступу – <http://www.iucnredlist.org>

Струс Ю.М.

Численность и распространение луговых куликов в полесской части долин рек Случь и Горынь: анализ методом моделирования в Maxent

Проанализировано размещение гнездовых поселений и численность чибиса (*Vanellus vanellus*), травника (*Tringa totanus*) и большого веретенника (*Limosa limosa*) в Полесских частях долин рек Случь и Горынь (Ровенская область, Украина) с акцентом на моделировании их распространения методом максимальной энтропии. На основании имеющихся в открытом доступе данных дистанционного зондирования Земли и ГИС слоев, созданных на их основе, построены модели распространения всех трех видов в долинах Случья и Горыни и достигнуто качества моделей на уровне AUC от 0,837 до 0,913 на тестовых данных. Проанализирован вклад отдельных предикторов в модели для каждого из видов и установлено, что наиболее информативными среди них оказались слои лесного покрова территории, зарослей кустарников, сельскохозяйственных угодий, индексы MNDWI и NDVI, расстояния до рек и высоты над уровнем моря. Продемонстрировано, что на основании открытых данных можно успешно моделировать в Maxent распространение чибиса, травника и большого веретенника в условиях Полесья.

Ключевые слова: кулики, *Vanellus vanellus*, *Tringa totanus*, *Limosa limosa*, численность, моделирование распространения, Maxent.

Strus Yu.M.

Numbers and distribution of grassland waders in Polissian part of Sluch and Goryn valleys: analysis by modeling in Maxent

Location of breeding colonies and numbers of Lapwing (*Vanellus vanellus*), Redshank (*Tringa totanus*) and Black-tailed Godwit (*Limosa limosa*) in valleys of Sluch and Goryn rivers (Rivne region, Ukraine) were analyzed, making emphasis on modeling approach in Maxent. Using open GIS data and satellite imagery as background layers distribution models for all three species were built. According to the results of ROC statistics, we achieved models with AUC in the range from 0,837 to 0,913 on test data. Analysis of the contribution of individual predictors into models shows that most important were layers of forest and shrub coverage, arable lands, MNDWI and NDVI indices, elevation and distance to rivers. It was shown, that using only data in open access it is possible to build good distribution models for Lapwing, Redshank and Black-tailed Godwit in circumstances of Polissia.

Keywords: waders, *Vanellus vanellus*, *Tringa totanus*, *Limosa limosa*, numbers, distribution modeling, Maxent.